

Lehrstuhl für Bodenkunde und Bodengeographie der Universität Bayreuth

**Ursachen für eine geringe N-Fixierungsleistung
von *Rhizobium meliloti* in Symbiose mit Luzerne
auf Schwarzerdeböden Zentralrußlands**

Diplomarbeit

von

Stefan Dürr

Zur Erlangung des Grades eines Diplom-Geoökologen

Fachrichtung Bodenkunde

Bayreuth im Juli 1993

INHALT

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 1. | EINFÜHRUNG UND ZIELSETZUNG | 1 |
| 1.1. | Der Ökologische Landbau in der Russischen Föderation | 2 |
| a) | Geschichtlicher Überblick | 2 |
| b) | Volks- und betriebswirtschaftliche Rahmenbedingungen | 2 |
| c) | Die ökologischen Rahmenbedingungen | 4 |
| d) | Perspektiven für den Ökologischen Landbau in Rußland | 4 |
| 1.2. | Die Bedeutung und Entwicklung des Luzerneanbaus in Rußland und der ehemaligen UdSSR | 5 |
| 1.3. | Die Bedeutung des Luzerneanbaus für den ökologischen Landbau in der zentralrussischen Schwarzerdezone | 6 |
| 1.4. | Faktoren, die für die symbiontische Stickstofffixierung durch <i>Rhizobium meliloti</i> eine Rolle spielen | 7 |
| 1.4.1. | pH-Wert | 7 |
| 1.4.2. | Hohe N-Versorgung im Boden | 9 |
| 1.4.3. | Das Fehlen geeigneter Stämme von <i>Rh. meliloti</i> im Boden | 10 |
| 1.4.4. | Phosphor | 11 |
| 1.4.5. | Kalium | 12 |
| 1.4.6. | Kalzium und Magnesium | 12 |
| 1.4.7. | Mikronährstoffe | 13 |
| 1.4.8. | Bodenstruktur | 13 |
| 1.4.9. | Rückstände von Pflanzenschutzmitteln im Bodens | 13 |
| 1.4.10. | Schwermetallbelastung | 14 |
| 1.4.11. | Wassermangel | 14 |
| 1.4.12. | Hitzeschädigung | 14 |
| 1.4.13. | Frost | 14 |
| 1.4.14. | Krankheiten und Schädlinge | 15 |
| 1.4.15. | Mykorrhiza | 15 |
| 1.4.16. | Allelopathie | 15 |
| 1.5. | Fragestellung | 16 |

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 2. | MATERIAL UND METHODEN | 17 |
| 2.1. | Standort | 17 |
| 2.1.1. | Auswahl | 17 |
| 2.1.2. | Die gesellschaftlichen und landwirtschaftlichen Rahmenbedingungen auf dem Kolchos "40 Jahre Oktober" | 17 |
| 2.1.3. | Die naturräumlichen Rahmenbedingungen am Versuchsstandort | 18 |
| 2.1.3.1. | Geologie und Geomorphologie | 18 |
| 2.1.3.2. | Klima | 19 |
| 2.1.3.3. | Potentielle natürliche Vegetation | 20 |
| 2.1.3.4. | Böden | 20 |
| 2.1.4. | Pflanzenmaterial | 22 |
| 2.1.5. | Witterungsbedingungen im Versuchszeitraum | 23 |
| 2.2. | Versuchsaufbau | 23 |
| 2.2.1. | Versuchsteil A | 23 |
| 2.2.2. | Versuchsteil B | 25 |
| 2.3. | Probennahme/ Probenaufbereitung | 28 |
| 2.3.1. | Versuchsteil A | 28 |
| 2.3.2. | Versuchsteil B | 29 |
| 2.4. | Untersuchungsmethoden | 30 |
| 2.4.1. | Knöllchenbonitierung | 30 |
| 2.4.2. | Labormethoden (Versuchsteile A und B) | 31 |
| 2.4.2.1. | Bodenchemische Parameter | 32 |
| a) | pH | 32 |
| b) | Pflanzenverfügbares Phosphor (nach Tschirikov) | 32 |
| c) | Pflanzenverfügbares Kalium (nach Tschirikov) | 32 |
| d) | Austauschbare Kationen (nach Pfeffer-Molodtsov-Ignatova) | 32 |
| e) | Basen-Neutralisations-Kapazität | 32 |
| f) | N-min - Untersuchungen | 33 |
| g) | Leicht mineralisierbarer Stickstoff (nach Tjurin und Kononova) | 33 |
| h) | Pflanzenverfügbares Molybdän (nach Grigg) | 33 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| i) | Bestimmung des Humusgehaltes (nach Tjurin) | 33 |
| 2.4.2.2. | Bodenphysikalische Parameter | 34 |
| a) | Korngrößenverteilung (nach Katschinskij) | 34 |
| b) | Aggregatstabilität (nach Savvinov) | 34 |
| 2.4.2.3. | Pflanzenanalysen | 34 |
| 2.5. | Statistische Auswertung | 35 |
| 3. | ERGEBNISSE UND DISKUSSION | 36 |
| 3.1. | Standortcharakteristika im Untersuchungsgebiet | 36 |
| 3.1.1. | Leitprofil | 36 |
| 3.1.2. | Bodenphys. Eigenschaften der untersuchten Böden | 9 |
| 3.1.2.1. | Lagerungsdichte | 39 |
| 3.1.2.2. | Aggregatstabilität | 39 |
| 3.1.3. | Bodenchemische Parameter der untersuchten Flächen | 40 |
| 3.1.3.1. | Chemische Zusammensetzung des Bodenmaterials | 40 |
| 3.1.3.2. | pH-Werte | 40 |
| 3.1.3.3. | Nährstoffe | 41 |
| 3.1.3.3.1. | Austauschbare Kationen | 41 |
| 3.1.3.3.2. | Stickstoff | 42 |
| 3.1.3.3.3. | Pflanzenverfügbares P ₂ O ₅ und K ₂ O | 43 |
| 3.1.3.3.4. | Ca- und Mg-Versorgung der Böden | 47 |
| 3.1.3.3.5. | Mikronährstoffe | 47 |
| 3.2. | Pflanzenbestände im Versuchsteil A | 48 |
| 3.2.1. | Visuelle Beschreibung der Teilstücke | 48 |
| 3.2.1.2. | Bestandesdichte | 48 |
| 3.2.1.3. | Beikräuter | 48 |
| 3.2.1.4. | Vitalität, Krankheiten, Schädlinge | 48 |
| 3.2.2. | Nährelementgehalte der Pflanzen in Versuchsteil A | 49 |
| 3.3. | Pflanzenbestand im Versuchsteil B | 52 |
| 3.3.1. | Visuelle Beschreibung und Entwicklung des Bestandes | 52 |
| 3.3.2. | Nährelementgehalte der Pflanzen in Versuchsteil B | 53 |

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 3.4. | Zusammenhänge zwischen Boden- und Pflanzenparametern | 54 |
| 3.5. | Trockenmasseertrag | 55 |
| 3.6. | Knöllchenbesatz und Einflußfaktoren | 57 |
| 3.6.1. | Knöllchenbesatz | 57 |
| 3.6.2. | Einflußfaktoren für die Knöllchenbildung | 59 |
| 3.6.2.1. | pH-Wert | 59 |
| 3.6.2.2. | Aktive Rhizobium-Stämme | 60 |
| 3.6.2.3. | Nmin-Gehalte im Boden | 61 |
| 3.6.2.4. | P- und K-Versorgung | 62 |
| 3.6.2.5. | Ca- und Mg- Versorgung | 64 |
| 3.6.2.6. | Mikronährstoffe | 64 |
| 3.6.2.7. | Bodenstruktur | 65 |
| 3.6.2.8. | Wassermangel, Hitzeschädigung | 65 |
| 3.6.2.9. | Schwermetallbelastung, Rückstände von Pflanzenschutzmitteln im Boden | 65 |
| 3.6.2.10. | Krankheiten und Schädlinge | 65 |
| 3.6.2.11. | Frost | 66 |
| 4. | SCHLUßFOLGERUNGEN | 67 |
| 5. | ZUSAMMENFASSUNG | 70 |
| 6. | LITERATUR | 72 |

DANK

ANHANG

1. EINFÜHRUNG UND ZIELSETZUNG

Sowohl aus wirtschaftlichen als auch aus ökologischen Gründen erfährt der ökologische Landbau in der Russischen Föderation momentan einen großen Aufschwung. Radikale Preissteigerungen für mineralische Düngemittel und synthetische Pflanzenschutzmittel im Zuge der marktwirtschaftlichen Reformen bei geringer steigenden Erzeugerpreisen zwingen zu einem weitestgehenden Verzicht auf Agrarchemikalien.

Die Methoden des ökologischen Landbaus können dabei eine mögliche Alternative zu einer auf den Einsatz von chemischen Hilfsmitteln aufgebauten Landbewirtschaftung darstellen.

In den zentralen Schwarzerdegebieten Rußlands gehört die Luzerne (*Medicago varia*) zu den verbreitetsten landwirtschaftlich genutzten Leguminosen. Bei einer Umstellung landwirtschaftlicher Betriebe auf Methoden des ökologischen Landbaus kommt ihr eine zentrale Bedeutung bei der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, der Erzeugung eiweißreichen Grundfutters für die Tierhaltung und der Anreicherung des innerbetrieblichen N-Kreislaufes durch symbiotisch fixierten Luftstickstoff zu.

Um diese Aufgaben erfüllen zu können, ist eine funktionierende Symbiose mit *Rhizobium meliloti*-Knöllchenbakterien erforderlich.

Bei einem Besuch einer internationalen Expertengruppe auf landwirtschaftlichen Betrieben in der Schwarzerdezone der Russischen Föderation, die ihre Wirtschaftsweise auf die Methoden des ökologischen Landbaus umstellen wollen, wurde ein geringer Besatz der Wurzeln von Luzerne (*Medicago varia*) mit stickstofffixierenden Knöllchenbakterien festgestellt. Darüber hinaus waren die vorhandenen Knöllchen klein und schienen wenig aktiv zu sein.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Gründe für den niedrigen Knöllchenbesatz und deren gehemmte Aktivität zu identifizieren sowie einen Vorschlag zu erarbeiten, der unter Praxisbedingungen zu einer spürbaren Verbesserung der Situation führen kann.

Die vorliegende Arbeit ist ein Teil einer langfristig angelegten Zusammenarbeit mehrerer westlicher wissenschaftlicher und gesellschaftspolitischer Organisationen mit entsprechenden Einrichtungen in Rußland zur Förderung des ökologischen Landbaus in der Russischen Föderation. Daran beteiligt sind unter anderem die Russische Akademie der Landwirtschaftswissenschaften, der Verband für ökologischen Landbau in der Russischen Föderation (Altagro), das Beratungsbüro für Ökologischen Landbau in Nemtschinovka/ Gebiet Moskau, das Michael Fields Agricultural Institute in East Troy/ Wisconsin, sowie der Internationale Dachverband der ökologischen Landbaubewegungen (IFOAM).

Da die Arbeit in einem Raum durchgeführt wurde, der den meisten Lesern unbekannt ist, sollen einige Vorbemerkungen über die aktuellen Rahmenbedingungen vor Ort gemacht werden. Dies erscheint umso wichtiger, weil die Förderung des ökologischen Landbaus, der in der Regel mit geringeren Erträgen in Zusammenhang gebracht wird, für die Russische Föderation, einem Land mit akutem Nahrungsmittelmangel, häufig Unverständnis hervorruft.

1.1. Der Ökologische Landbau in der Russischen Föderation

a) Geschichtlicher Überblick

Obwohl eine breite Entwicklung des ökologischen Landbaus in der Russischen Föderation erst in den letzten Jahren zu beobachten ist, liegen die Anfänge dieser Landbauform auch in Rußland lange zurück. Der Agronom, Pädagoge, Maler und Schriftsteller Andrej Bolotov (1738-1796) gilt mit seinen Arbeiten als der Vater der Fruchtfolgewirtschaft (Ganitschev, 1991).

Der legendäre Agronom T.S. Maltsev erzielte seit Beginn der fünfziger Jahre auf Kolchosen im Verwaltungsgebiet Kurgan in Westsibirien höchste Erträge ohne den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Mineraldüngern (Jablokov, 1992a).

Seit 1973 arbeiten der Kolchos "Zarja Kommunisma" (Verw.-gebiet Omsk), seit 1979 der Kolchos "Leninskaja Iskra" (Auton. Republik Tschuwaschien) bewußt nach den Grundsätzen des ökologischen Landbaus (Gerdt, 1989; Starova, 1991).

Von weiteren erfolgreich ohne chemische Pflanzenschutzmittel und leichtlösliche Mineraldünger wirtschaftenden Betrieben und teilweise ganzen Landkreisen wird aus den Verwaltungsgebieten Krasnodar (Lkrs. Beloretschenskij), Poltava, Omsk (Lkrs. Murotsevschij, Omskij Bekon), u.a. berichtet (Jablokov, 1992a).

b) Volks- und betriebswirtschaftliche Rahmenbedingungen

Die Landwirtschaft in Rußland steckt in einer schweren Krise. Gleichzeitig stellt die ausreichende Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln einen der zentralen Punkte in der Durchführung der politischen und wirtschaftlichen Reformen dar (Gorbatschow, 1987). Neben der Lösung der großen Probleme im Bereich der Lagerung, Verarbeitung und Vermarktung von landwirtschaftlichen Produkten steht eine Anpassung der landwirtschaftlichen Produktion auf volkswirtschaftlich sinnvolle und ökologisch vertretbare Technologien im Mittelpunkt der Neuausrichtung des Agrarsektors in der Russischen Föderation.

Im Rahmen der Arbeitsteilung im ehemaligen Rat für gegenseitige Wirtschaftshilfe (RGW) war die Produktion von Pflanzenschutzmitteln fast ausschließlich auf Staaten außerhalb der ehemaligen UdSSR konzentriert. Die wenigen in der UdSSR liegenden Produktionsbetriebe von Pflanzenschutzmitteln mußten ihre Anlagen im Zuge drastisch verschärfter Umweltauflagen in den Jahren 1987-89 fast ausnahmslos schließen. Dadurch sank die Produktion von Pflanzenschutzmitteln in der Russischen Föderation von 189.000 Tonnen im Jahr 1980 auf 110.000 Tonnen 1990 und 47.000 Tonnen im Jahr 1992. Das Herbizid 2,4-D, das in Ufa/ Ural produziert wird (1992 20.000t, davon 14.000t für den Export), ist das einzige Präparat, das in vollem Umfang in Rußland hergestellt werden kann. Alle anderen in Rußland hergestellten Mittel beruhen auf der Einfuhr von Halbfabrikaten aus dem Ausland (Zacharenko, 1993).

Der Zusammenbruch des RGW hat dazu geführt, daß die russische Regierung Pflanzenschutzmittel auch aus den ehemaligen RGW-Staaten nur noch auf Devisenbasis einführen kann. Insgesamt wurden von der russischen Regierung 1992 240 Mio. US-Dollar für den Import von Pflanzenschutzmitteln aufgewendet. Dabei wurde der Weiterverkaufspreis an die landwirtschaftlichen Betriebe mit 80% vom Staat subventioniert. Durch den in den letzten Jahren immer akuter werdenden Devisenmangel der Russischen Föderation und damit verbundenen stark eingeschränkten Subventionsmöglichkeiten hat sich der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln für landwirtschaftliche Betriebe drastisch verteuert. In der Zeit zwischen 1985 und 1993 ist der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der russischen Landwirtschaft von 300.000 Tonnen im Jahre 1985 auf 49.500 Tonnen im Jahre 1992 zurückgegangen. Für 1993 dürften nach offiziellen Schätzungen nicht mehr als 30.000 Tonnen zur Verfügung stehen (Zacharenko, 1993).

Dank großer natürlicher Phosphor- und Kalilagerstätten und Energiequellen war die Düngemittelproduktion in der ehemaligen UdSSR quantitativ weltweit führend. Starke Produktionsrückgänge infolge der desolaten gesamtwirtschaftlichen Lage in Rußland einerseits und umfangreiche Exporte in das Ausland als Folge der Liberalisierung des Außenhandels andererseits haben trotz hoher Produktionskapazitäten zu einem großen Angebotsdefizit von Mineraldüngermitteln verbunden mit radikalen Preissteigerungen auf dem russischen Düngemittelmarkt geführt.

Seit 1992 sieht sich im Zuge der radikalen Wirtschaftsreformen in Rußland der Agrarsektor mit einer an der Marktwirtschaft orientierten Agrarpolitik konfrontiert. Dazu gehören ein drastischer Subventionsabbau und eine sich am Markt orientierende Preispolitik. Durch die allgemein niedrige Kaufkraft breiter Bevölkerungsschichten in der Russischen Föderation läßt sich ein positives betriebliches Wirtschaftsergebnis in der Landwirtschaft nur durch eine extreme Einsparung auf der Kostenseite erreichen. Dies zwingt die Betriebe dazu, nach

Alternativen zu suchen, die ein optimales Betriebsergebnis unter der größtmöglichen Einsparung teurer Betriebsmittel garantieren (Geier, 1993).

Die oben erwähnte radikale Verteuerung von Pflanzenschutzmitteln und Mineraldüngern können aufgrund fehlender Kaufkraft nicht durch einen entsprechenden Anstieg der landwirtschaftlichen Erzeugerpreise kompensiert werden. Dies verhindert den Einsatz chemischer Hilfsstoffe in fast allen Produktionsrichtungen unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten (Fetisov und Dürr, 1993).

c) Die ökologischen Rahmenbedingungen

Der jahrzehntelange unsachgemäße Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Mineraldüngern hat zu einer teilweise erheblichen Belastung der Böden, der Nahrungsmittel und des Trinkwassers geführt. Nach offiziellen Angaben sind 30 % der Nahrungsmittel mit Pflanzenschutzmitteln belastet (VASChNIL, 1991). Jakoblov (1992b) spricht von einer Verseuchung von 20 % aller Milchprodukte des Landes mit fettlöslichen Insektiziden.

Im überwiegenden Teil der ländlichen Siedlungen in Rußland erfolgt die Trinkwasserversorgung in oberflächennahen Ziehbrunnen. Dadurch ist in intensiv genutzten landwirtschaftlichen Gebieten die Trinkwasserversorgung extrem anfällig für eine Kontamination mit im Boden verlagerbaren Pflanzenschutzmitteln und Nitraten.

d) Perspektiven für den Ökologischen Landbau in Rußland

Diese und weitere Gründe, wie z.B. das Fehlen zuverlässig arbeitender Pflanzenschutzspritzen und Düngerstreuer, verbunden mit einem ohnehin landesweit niedrigen Ertragsniveau, haben in den letzten Jahren in agrarwissenschaftlichen Kreisen in Rußland zu einem verstärkten Interesse an Methoden des ökologischen Landbaus geführt (Schapkin, 1990; Schutchenko, 1991; VASChNIL, 1991; Kaschtanov, 1992).

Nach der Einführung marktwirtschaftlicher Prinzipien in der Produktion zu Beginn 1992 hat sich die Notwendigkeit einer landbaulichen Alternative zu der bis dahin auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Mineraldünger ausgerichteten Landbewirtschaftung stark erhöht, und wird nicht mehr nur von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, sondern gerade von Produzenten gefordert (Vereschtschak, 1992).

Zu einer positiven Bewertung der Möglichkeiten für den ökologischen Landbau in Rußland gelangen auch Agrarwissenschaftler aus Westeuropa und den USA (Buys, 1992; Goldstein, 1993).

In einem gemeinsamen Projekt der Allunionsakademie der Landwirtschaftswissenschaften der UdSSR (VASChNIL) und dem Internationalen Dachverband organischer Landbaubewegungen (IFOAM) wurde 1990 begonnen, die Umstellung von sechs in verschiedenen Klimazonen gelegenen Kolchosen und Sowchosen auf ökologische Wirtschaftsweise wissenschaftlich zu begleiten (Mansvelt, 1990; Mansvelt, 1991).

1.2. Die Bedeutung und Entwicklung des Luzerneanbaus in Rußland und der ehemaligen UdSSR

In den zentralasiatischen Republiken der ehemaligen UdSSR wird Luzerne seit Urzeiten im Bewässerungsfeldbau angebaut. Heute spielt sie dort, besonders in Usbekistan, eine fundamentale Rolle im Baumwollanbau. Luzerne-Baumwoll-Fruchtfolgen im Verhältnis 3:7, sind in Usbekistan die häufigste Form der Landbewirtschaftung. Der Luzerne kommt dabei eine herausragende Bedeutung bei der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, der Unkrautbekämpfung und als Viehfutter zu (Vavilov, 1986).

Nach Rußland gelangte die Luzerne gegen Ende des 18. Jahrhunderts vom Westen (Spanien, Frankreich) und aus Mittelasien (Kuleschov, 1938). Eine größere Verbreitung erzielte die Luzerne in den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts (Konstantinov, 1923). Erste Versuchsergebnisse liegen für 1859 aus Voronesch vor. 1901 wurden im europäischen Teil des Russischen Reiches 32000 Desatinen (=35000 ha) Luzerne angebaut. Das entsprach 3 % des Feldfutterbaus. Die Anbauggebiete waren die Steppenregionen des unteren und mittleren Wolgalaufes sowie der südlichen Ukraine. Dabei war der Anbau konzentriert auf große Gutshöfe. Im allgemeinen wurde die Luzerne außerhalb der Fruchtfolge angebaut. Die Nutzungsdauer betrug 5-8 Jahre (Sinskaja, 1950).

Nach der Revolution wurde die Anbaufläche der Luzerne beträchtlich ausgeweitet und betrug 1940 über 2 Millionen Hektar (das entsprach 3 % der gesamten Ackerfläche). Der Anbau konzentrierte sich auf die südöstlichen Gebiete des europäischen Teils der RSFSR. Hauptanbauggebiete waren die Gebiete Stavropol, Krasnodar, Rostov am Don. In diesen Gebieten machte der Luzerneanbau 9,6 % der Ackerfläche aus (Sinskaja, 1950).

In den zentralrussischen Schwarzerdegebieten (Kursk, Orjol, Voronesch, Tambov, Pensa, Lipezk) wurden 1940 lediglich 90.000 ha Luzerne angebaut (= 1 % der Ackerfläche). In diesen Gebieten war Rotklee der Hauptkonkurrent von Luzerne, obwohl Versuchsergebnisse aus Pensa, Tambov und Voronesch deutlich höhere Erträge und vor allem eine höhere Widerstandsfähigkeit gegen Trockenheit und Kälte in schneearmen Wintern der Luzerne gegenüber dem Rotklee ergaben (Sinskaja, 1950).

In den Nachkriegsjahren weitete sich der Luzerneanbau vom Steppen- und Waldsteppengürtel in die klimatisch ungünstigeren Gegenden des Waldgürtels mit Nichtschwarzerdeböden aus (Vavilov, 1979).

1988 wurden in Rußland 4,2 Millionen Hektar Luzerne angebaut (15% des gesamten Feldfutterbaus). Damit lag die Luzerne flächenmäßig im Bereich des Anbaus von Rotklee (Charkov, 1989a,b).

Damit scheinen die lange vorherrschenden traditionellen Vorbehalte gegen den Luzerneanbau im europäischen Teil der ehemaligen UdSSR überwunden zu sein.

Im Vergleich dazu läßt sich in der Bundesrepublik Deutschland eine gegenläufige Entwicklung feststellen. Seinen Höhepunkt erreichte der Luzerneanbau zu Beginn der 50er Jahre mit einer Gesamtfläche von 300.000 ha. Danach setzte eine stetig rückläufige Entwicklung der Anbaufläche auf 29.000 ha im Jahr 1983 ein (Kämpf et al., 1985).

1.3. Die Bedeutung des Luzerneanbaus für den ökologischen Landbau in der zentralrussischen Schwarzerdezone

Der Einbau von Leguminosen in die Fruchtfolge ist die Voraussetzung für eine ausreichende Stickstoffversorgung des betrieblichen Nährstoffkreislaufes im ökologischen Landbau. Daneben stellen Leguminosen die Versorgung des Betriebes mit eiweißreichen Grundfuttermitteln für die Tierhaltung sicher.

Der Mangel an pflanzlichem Eiweiß als Futtermittel für die Tierhaltung war und ist ein chronisches Problem der Agrarwirtschaft in der ehemaligen UdSSR. Große Mengen wertvollen Getreides wurden aufgrund unausgeglichener Futterrationen verschwendet (Vavilov und Posypanov, 1983). Von höchster politischer Seite wird eine Verbesserung des Feldfutanbaus gefordert (Gorbatschow, 1985).

1989 wurde auf dem 27. Parteitag der KPdSU eine Intensivierung des Anbaus mehrjähriger Futterpflanzen zur besseren Versorgung der Tierproduktion mit pflanzlichem Eiweiß beschlossen. Dabei wird insbesondere die Bedeutung der Luzerne hervorgehoben (Gorbatschow, 1989).

Campbell et al. (1991) betonen die wichtige Rolle von Luzerne-Gras-Gemengen in der Fruchtfolge zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit.

Neben dem Anbau von einjährigen, leguminosenreichen Futtergemengen (Hafer, Wicke, Erbsen) stellt in der zentralrussischen Schwarzerdezone der mehrjährige Anbau von Rotklee- (*Trifolium pratense*) und Luzerne- (*Medicago sativa*, *M. falcata* und *M. varia*) gras-

gemengen die wichtigste Form des Leguminosenanbaus dar. In den letzten Jahren gewinnt daneben der Anbau von Steinklee (*Melilotus alba* und *M. officinalis*) zur Futternutzung und zur Bodenverbesserung an Bedeutung.

Gegenüber dem Rotklee zeichnet sich die Luzerne durch eine längere Nutzungsdauer, eine bessere Futterqualität, sowie eine höhere Ertragssicherheit unter den klimatischen Bedingungen der zentralrussischen Schwarzerdezone aus (vergl. Kap. 1.2.).

Die höhere Ertragssicherheit ist auf eine bessere Anpassung an Sommertrockenheit und die höhere Widerstandskraft der Luzerne gegen kalte, schneearme Winter und eine geringere Anfälligkeit gegenüber *Fusarium*-Pilzen zurückzuführen (Trepatshev und Azorov, 1991).

Daneben spielt der Anbau von Luzerne eine Rolle bei der Unterdrückung von Wurzelunkräutern (Herrmann und Plakolm, 1991).

Die Nachteile der Luzerne sind die höheren Ansprüche an Wärme während der Vegetationsperiode und an den Kalkzustand des Bodens. Außerdem besitzt Luzerne im Vergleich zu Rotklee die geringere Konkurrenzkraft gegenüber Deckfrüchten und Verunkrautung, sowie eine jahresabhängige Unsicherheit bei der Saatgutgewinnung.

1.4. Faktoren, die für die symbiontische Stickstofffixierung durch *Rhizobium meliloti* eine Rolle spielen

Eine befriedigende Stickstofffixierung durch *Rhizobium meliloti* an Luzernewurzeln kann durch verschiedene Faktoren positiv oder negativ beeinflusst werden. Bei der folgenden Besprechung der einzelnen Faktoren wird mehrmals auf die Ansprüche von Rotklee (*Trifolium pratense*) und den mit ihm symbiotisierenden Knöllchenbakterien *Rhizobium trifolii* hingewiesen. Dadurch sollen die verschiedenen Standortansprüche der beiden wichtigsten mehrjährigen Futterleguminosen in der Region dargestellt werden.

1.4.1. pH-Wert

Luzerne/ *Rh. meliloti* gilt als sehr empfindlich gegenüber niedrigen pH-Werten (Bushby, 1982; Gontscharov und Lubenets, 1985; Trinick, 1982). Mahler und McDole (1986) fanden Ertragsrückgänge für Luzerne ab pH 5,7. Vincent (1977) und Rice et al. (1977) stellten bei Boden pH-Werten unter 6,0 einen steilen Abfall des Wachstums der Luzerne sowie des Knöllchenbesatzes fest. Dahingegen nennen Fageria et al. (1989) einen pH-Wert von 5,8 (H₂O) als Optimum für das Luzernewachstum. Ab einem pH-Wert (KCL) von 4,2 stellt *Rhizobium meliloti* die stickstofffixierende Aktivität ein (Charkov, 1989a).

Die Wachstumsstörungen infolge niedriger pH-Werte treten insbesondere auf, wenn die Stickstoffversorgung der Pflanze auf die Fixierung molekularen Luftstickstoffes angewiesen ist (Andrew, 1976; Mulder et al., 1966). Bei einer ausreichenden N-Versorgung der Pflanze mit mineralischem Stickstoff, ist die Luzerne auch noch bei einem pH-Wert von 4,0 in der Lage zu wachsen (Munns, 1965).

Über eine größere Toleranz gegenüber niedrigen pH-Werten verfügt das System Rotklee (*Trifolium pratense*)/ *Rhizobium trifolii*. Für Rotklee wurde von Rice et al. (1977) im untersuchten pH-Bereich (4,5-7,2) keine Veränderungen im Wachstum und Knöllchenbesatz festgestellt. Ab pH 4,9 nahm lediglich die Anzahl der *Rhizobium*-Bakterien in der Wurzelzone ab. Ab pH 4,2-4,5 ist mit einer Verminderung der symbiotischen N-Fixierung durch *Rhizobium trifolii* zu rechnen.

Der verminderte Knöllchenbesatz der Luzerne bei niedrigen pH-Werten ist nach Rice et al. (1977) und Pijnenborg und Lie (1990b) sowohl auf eine verminderte Überlebensfähigkeit der Bakterien bei niedrigen pH-Werten als auch auf eine gehemmte Infizierung der Pflanze mit *Rhizobium* zurückzuführen.

Düngungsversuche mit Kalk haben in einer Reihe von Versuchen zu Mehrerträgen bei der Luzerne, zu höheren N-Gehalten in der Pflanze und verbesserter Nodulation geführt (Deinum und Eleveld, 1986; Pristasch, 1990; Rechcigl et al., 1988; Trischkin und Trischkina, 1976; Schilnikov und Ivoilov, 1991). Penney et al. (1977) erzielten durch Kalkung von insgesamt 28 leicht sauren bis sauren Böden in Kanada Mehrerträge von 50 % (bei Boden pH 5,6-6,0) bis 300 % (pH < 5). Bei Rotklee lag der Mehrertrag durch Kalkung auch bei pH-Werten unter 5 dagegen bei weniger als 10 %.

Eine Inkrustierung des Saatgutes mit Kalk kann nach Pijnenborg und Lie (1990 b) ebenfalls zu einer Verbesserung des Wachstums führen. Dies ist nach Rice et al. (1977) auf die besseren Überlebenschancen der inokulierten *Rhizobia* nach einer Inkrustierung mit Kalk in sauren Böden zurückzuführen. Nach Brockwell (1977) ist die Zeit zwischen Saat und Keimung der kritische Zeitraum für das Überleben der *Rhizobium* Bakterien. In Rhizotronversuchen konnten Pijnenborg und Lie (1991) durch eine Inkrustierung des Saatgutes mit 30 kg CaCO_3/ha einen höheren Besatz der Luzernewurzeln mit Knöllchenbakterien, einen höheren Luzerneertrag und einen höheren N-Gehalt der Luzerne auf einem sauren Boden (pH (H_2O) 5,2) erreichen.

Haller (1983) fand, daß Luzerne noch in sehr sauren Böden gute Erträge bringen kann, wenn die Samenumgebung bei der Keimung neutral ist.

1.4.2. Hohe N-Versorgung im Boden

Bei einem hohen Angebot an mineralischem Stickstoff, der aus mineralischen Düngemitteln oder der Mineralisierung des organisch gebundenen Bodenstickstoffes herrührt, wird sowohl die Infektion, als auch die stickstofffixierende Aktivität der Knöllchen unterdrückt (Eardly, 1984).

Auf Standorten, die über geeignete Bedingungen für eine hohe *Rh. meliloti*-Aktivität verfügen und auf denen aktive *Rh. meliloti*-Stämme vorhanden sind, haben Düngungsversuche mit mineralischem Stickstoff zu einem gleichbleibenden oder leicht verbesserten Luzerne-wachstum bei einem gleichzeitigen Rückgang der N-Fixierungsleistung geführt (Eardley et al., 1988; Trepatshev et al., 1980). Trepatshev et al. (1980) fanden keine Ertragssteigerungen bei Luzerne durch verschieden hohe N-Gaben auf Böden, auf denen aufgrund der Bodenreaktion eine symbiotische N-Fixierung möglich ist. Dagegen wurde auf sauren Böden eine Ertragssteigerung von Luzerne, nicht jedoch von Rotklee durch eine mineralische N-Düngung erreicht.

Vernitschenko und Mischustin (1989) stellten in Topfversuchen mit degradierter Schwarzerde keine signifikanten Unterschiede im N-Ertrag von Luzernepflanzen bei einer Gabe von 30 mg bzw. 60 mg N_{min}/ kg Boden fest. Jedoch verringerte sich der Anteil des symbiotisch fixierten Stickstoffes am Gesamt-N-Gehalt der Pflanze um 20 % bzw. 90 %. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen in Feldversuchen auch Trepatshev und Azarov (1989). Bei einer N-Düngung (als NPK) von 60 bzw. 120 kg N/ha nahm der Anteil des fixierten Luftstickstoffes am Anteil des Gesamtstickstoffertrages in der Luzerne von 85 % auf 65 % bzw. 45 % ab.

Besonders empfindlich gegenüber hohen Nitrat-Konzentrationen in der Bodenlösung ist das Luzerne-Rhizobium-System zum Zeitpunkt der Infizierung der Wurzeln durch die Knöllchen. Munns (1968) stellte einen Rückgang von Feinwurzeln und Knöllchenzahl an Luzerne-wurzeln schon bei geringen Nitrat-Konzentrationen in der Nährlösung fest. Ausschlaggebend war der Nitratgehalt zum Zeitpunkt der Inokulierung. Spätere Nitratgaben hatten keinen signifikanten Einfluß auf eine Nodulierung. Nach Munns (1968) führt ein hoher Nitratgehalt in der Bodenlösung auch zu einer geringeren Toleranz gegenüber einer sauren Bodenreaktion.

Die Mineralisierung organischen Stickstoffes im Boden kann in Abhängigkeit von Bodenart, Bodenfruchtbarkeit und Witterungsbedingungen zu N_{min}-Gehalten führen, die auf verschiedenen Böden die Fixierungsleistung von Rhizobien unterschiedlich beeinträchtigen (Aldag et al., 1985; Trepatshev und Jagodina, 1985).

Dabei reagieren verschiedene Rhizobium-Stämme unterschiedlich empfindlich auf ein hohes Angebot an mineralischem Stickstoff (Nelson und Edie, 1991).

1.4.3. Das Fehlen geeigneter Stämme von *Rh. meliloti* im Boden

Verschiedene Stämme von derselben *Rhizobium*-Art können sich sehr stark in ihrer Aktivität unterscheiden. Obwohl Pflanzenwurzeln von Knöllchen besetzt sind, können diese inaktiv in Bezug auf die Fixierung molekularen Luftstickstoffes sein (Dorosinskij, 1970; Viands et al, 1979).

Eine Inokulation mit aktiven *Rhizobium meliloti*- Stämmen brachte in einer Reihe von Versuchen eine bessere Nodulierung, einen Mehrertrag an Gesamttrockenmasse und einen höheren Stickstoffgehalt der Luzerne (Lapinskas, 1990; Eardley et al., 1988; Dorosinskij und Afanasjeva, 1976; Bell und Nutman, 1971; Vasjuk et al., 1976; Dubikovskij und Daniljtschik, 1992).

Eine wichtige Rolle bei der erfolgreichen Infizierung von Leguminosenwurzeln durch *Rh. meliloti* spielt die Konkurrenzfähigkeit gegenüber bodenbürtigen, nicht oder wenig aktiven Stämmen (Germida, 1988; Thies et al, 1991; Bernard und Werner, 1992).

Aktive Stämme, die über eine Inokulierung in den Boden gebracht werden, können aufgrund einer niedrigeren Konkurrenzkraft gegenüber den bodenbürtigen Stämmen verdrängt werden.

Wendell, Rice und Olsen (1992) stellten keinen Mehrertrag bei verschiedenen Formen der Inokulierung in Böden fest, in denen sie vorher die native *Rh.*-Population künstlich von 100 auf 100.000 Bakterien/ g Boden erhöht hatten. Bell und Nutman (1971) erzielten Mehrerträge bei einer Impfung mit effektiven Stämmen. Eine Impfung mit nicht aktiven Stämmen führte jedoch zu deutlichen Mindererträgen gegenüber der Kontrolle (keine Impfung). Wichtig für den Erfolg scheinen die ersten 24 Stunden nach der Inokulierung zu sein (Winarno und Lie, 1979).

Unter verschiedenen bodenökologischen Bedingungen zeigten sich verschiedene Stämme unterschiedlich konkurrenzfähig (Schmidt und Robert, 1985). Sie können eine sehr unterschiedliche Toleranz gegenüber niedrigen pH-Werten (Lie, 1971), Mangel/Überschuß an Nährstoffen und einer Belastung mit Schwermetallen haben (Holding und Lowe, 1971). Unterschiedlich aktiv sind verschiedene Stämme auch unter unterschiedlichen Temperaturbedingungen (Gibson, 1971).

Unterschiedliche Reaktionen des gleichen Stammes *Rh. meliloti* werden auch in Bezug auf die Symbiose mit verschiedenen Luzerne-Sorten beschrieben (Melkumova, 1957; Vasjuk, 1978). Diese Ergebnisse werden bestätigt von Provarov und Smirnov (1990), die eine sehr starke sortenspezifische Variation von Knöllchenbildung und Fixierungsleistung bei einer Inokulierung mit verschiedenen *Rh. meliloti* - Stämmen von insgesamt 99 *M. sativa*, *M. varia* und *M. falcata* - Sorten feststellten. Viands et al. (1979) fanden Linien von Luzer-

nensorten, die, genetisch bedingt, nicht auf eine Inokulierung mit verschiedenen Rh. meliloti- Stämmen ansprachen. Dorosinskij (1970) dagegen kommt nach der Auswertung einer Reihe von eigenen und fremden Versuchen zu dem Schluß, daß eine spezifische Sorten-Stamm- Abhängigkeit nicht besteht, bestimmte Sorten jedoch nicht auf die Inokulierung mit einem bestimmten Stamm ansprechen.

Einen großen Einfluß auf die Effektivität einer durchgeführten Impfung mit Rhizobium- Präperaten scheint die Art der Impfung zu haben. Rice und Olsen (1988) erreichten eine Ertragssteigerung von 30 % bei einer puderförmigen Impfung des Saatgutes. Bei der Impfung mit zusammen mit dem Saatgut abgelegtem granulatformigem Rhizobium über den Boden wurde der Ertrag verdoppelt. Bei der granulatformigen Impfung konnte ein fast 100 %iger Besatz mit dem geimpften, aktiven Präperat erreicht werden. Bei der praxisüblichen Impfung in Puderform bestand nur die Hälfte der entstandenen Knöllchen aus aktiven Stämmen. Der Prozentsatz aktiver Knöllchen ging zum nächsten Frühjahr in allen Varianten stark zugunsten lokal vorhandener Stämme zurück.

Der Besatz der Leguminosenwurzeln mit nicht aktiven Knöllchen ist die Ursache von Versuchsergebnissen, in denen kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Anzahl und Größe der Knöllchen mit dem Ertrag gefunden werden konnte.

Dabei können auch andere Bakterien-Arten der Gattung Rhizobium, wie Rh. leguminosarum, Luzernewurzeln infizieren und Knöllchen bilden. Diese Symbiosen sind jedoch nicht aktiv in bezug auf die Fixierung molekularen Luftstickstoffs (Eardley et al., 1985).

Rice und Olsen (1988) fanden einen Zusammenhang zwischen Knöllchenzahl und Pflanzenertrag nur, wenn der Anteil der inokulierten aktiven Stämme am Gesamtbesatz der Knöllchen ca. 50 % und höher lag.

1.4.4. Phosphor

Die symbiotische Fixierung molekularen Luftstickstoffes durch Rhizobien ist mit einem hohen Energieaufwand verbunden. Der dazu benötigte Energietransfer geschieht mit Hilfe von ATP (Schlegel, 1985). Dies führt zu einem hohen P-Bedarf von Leguminosen. Bei Luzerne ist der P-Bedarf, auch im Vergleich zu anderen Leguminosen besonders hoch (Anonymus, 1990; Vivekanandan, 1991; Fageria et al., 1989).

Dabei zeigen verschiedene Luzerne-Sorten einen unterschiedlichen P-Bedarf (Pereira und Bliss, 1987).

Eine Unterversorgung mit pflanzenverfügbarem Phosphat führte in einer Reihe von Topf- und Feldversuchen zu einer verminderten N-Fixierungsleistung und zu Mindererträgen an

Leguminosen, sowie einem verminderten N-Gehalt in der Pflanze (Trepatshev und Jagodina, 1985; Davis, 1991).

Düngungsversuche mit unterschiedlichen P-Gaben führten regelmäßig zu Mehrerträgen und besserer Nodulierung von Luzerne (Soon, 1988; Bitman et al., 1991; Castellanos Ramos, 1986) und anderen Leguminosen (Graham und Rosas, 1979; van Othman et al., 1991) auf P-unterversorgten Böden. Die P-Quelle (Superphosphat, Rindergülle, Hühnermist) hatte dabei keinen Einfluß auf die Ertragssteigerungen (Castellanos Ramos, 1986).

Höhere P-Konzentrationen in der Nährlösung führen außer zu einer größeren Gesamtzahl an Knöllchen auch zu einem höheren Anteil roter aktiver Knöllchen (Pereira und Bliss, 1987).

Auf typischen Schwarzerdeböden erzielten Trepatshev und Azarov (1991) bei niedriger P-Versorgung (5-8 mg P_2O_5 / 100g Boden) eine Ertragssteigerung von 10-30 % durch eine P-Düngung (150 kg P_2O_5 /ha). Auf Böden mit einer hohen P-Versorgung (12-18 mg P_2O_5 / 100g Boden) führte eine P-Düngung zu keiner Ertragssteigerung. Rotklee reagierte auch auf den schlecht mit P versorgten Böden nur unwesentlich auf eine P-Düngung. Der P-Gehalt der Pflanzen blieb in allen Varianten unbeeinflusst vom P-Gehalt in den Böden.

1.4.5. Kalium

Kalium scheint eine geringere Bedeutung für das Wachstum der Luzerne sowie deren Knöllchenbesatz und -aktivität zu haben. Auf Kali-Mangelstandorten werden dennoch Ertragssteigerungen durch eine Kali-Düngung erzielt. Über einen besseren Kohlehydratstoffwechsel von ausreichend mit Kalium versorgten Pflanzen kann eine Kali-Düngung auch fördernd auf den Knöllchenbesatz und deren Fixierungsleistung wirken. Kali-Mangel führt zu einer schlechteren Winterhärte und einer höheren Anfälligkeit gegenüber Krankheiten (Duke und Collins, 1985; Lanyon und Smith, 1985).

1.4.6. Kalzium und Magnesium

Luzerne hat einen extrem hohen Anspruch an die Ca-Versorgung des Bodens. Auf schlecht mit Kalzium versorgten Böden ist ein erfolgreicher Anbau von Luzerne auch nach einer einmaligen Kalkung kaum möglich (Kämpf et al., 1985).

Während Obaton (1971) keinen Zusammenhang zwischen dem pH-Wert und der Anzahl aktiver *Rhizobium meliloti* Bakterien im Boden fand, war die Menge austauschbarer Ca^{2+} -Ionen entscheidend für das Vorhandensein aktiver Stämme. Obaton nennt einen Anteil von 50-60 % Ca^{2+} -Ionen an der KAK als kritischen Wert, ab dem nur noch wenige aktive Bakterien im Boden vorhanden waren.

Der Bedarf der Luzerne an Kalzium liegt deutlich über dem Ca-Bedarf von Rotklee. Dagegen liegt der Magnesium-Bedarf von Rotklee deutlich über dem von Luzerne (DLG, 1973).

Der Bedarf an Kalzium ist besonders hoch in Böden, die niedrig bis mittel mit Phosphor versorgt sind (Beck und Munns, 1985).

1.4.7. Mikronährstoffe

Bor und Molybdän spielen eine wichtige physiologische Rolle bei der symbiotischen Aneignung von Luftstickstoff, bei der Vermehrung der Bakterien und im Infektionsprozess. Molybdän ist ein wichtiger Baustein der Nitrogenase (Schlegel, 1990). Lapinskas (1990) erreichte eine Ertragssteigerung bei Luzerne durch eine Behandlung des Saatgutes mit Bor oder Molybdän in Verbindung mit einer Impfung mit aktiven Rhizobium-Stämmen. Eine Impfung mit beiden Mikronährstoffen gemeinsam ergab keinen höheren Ertrag. Beim Vorhandensein aktiver einheimischer Bakterienstämme kann die Behandlung mit Bor oder Molybdän eine Impfung mit Rhizobium ersetzen. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch Georgiev (1989).

1.4.8 Bodenstruktur

Luzerne gilt als eine Kultur, die besonders hohe Ansprüche an eine gute, tiefgründige Bodenstruktur stellt (Wheeler, 1950). Sie verträgt keinen durch Befahren bei feuchtem Boden ausgelösten Bodendruck (Anonymus, 1988).

1.4.9. Rückstände von Pflanzenschutzmitteln im Boden

Über die Schädigung aktiver Rhizobium-Stämme durch Pflanzenschutzmittel liegen unterschiedliche Ergebnisse vor. Triazine scheinen ungiftig für Rhizobium zu sein. Eine geringe Toxizität gegenüber Rhizobium wurde auch bei den Fungiziden Thiram, Dexon und Dithan gefunden. Eine hohe Toxizität wurde dagegen bei den schwermetallhaltigen Fungiziden gefunden. Die Insektizide Lindan, Aldrin und Malathion scheinen keine Wirkung auf Rhizobium zu haben. Endrin, Phorat und Chlorpheniphos sollen die Knöllchenbildung sogar fördern (Trinick, 1982).

Rosas und Correa (1989) stellten einen hohen Anteil nicht aktiver Knöllchen an Luzerne-wurzeln nach einer Behandlung mit Parathion fest.

Nach Huber und Wallnhöfer (1983) wird die Infizierung von Leguminosenwurzeln mit aktiven Rhizobium-Stämmen durch Bodenherbizide (Monolinuron; 2,4-D; 2,4,5-T) negativ beeinflusst. Der negative Effekt wird durch hohe Nitratwerte in der Bodenlösung verstärkt. Aldag et al. (1985) konnten keine negativen Effekte ausgehend von Bodenherbiziden auf die

Nitrogenaseeffektivität von Rhizobien feststellen. Eine hemmende Wirkung wurde lediglich beim Blattherbizid Dinosebacetat festgestellt.

1.4.10. Schwermetallbelastung

Knöllchenbakterien reagieren empfindlich auf die Belastung der Böden mit Schwermetallen. Chaudri et al. (1992) fanden bei Cd-, Zn- und Cu- Belastungen eine Deaktivierung bis hin zu einem vollständigen Absterben von *Rhizobium trifolii*- Knöllchen. Auf Nickel reagierten die untersuchten Bakterien unempfindlich.

1.4.11. Wassermangel

Obwohl die Luzerne durch ihre tiefe Pfahlwurzel auf tiefgründigen, gut strukturierten Böden auch in trockenen Jahren tief liegende Wasservorräte nutzen kann, kann es durch Wasserstreß im Oberboden zu einem Absterben der *Rhizobium*-Knöllchen kommen (Sprent, 1971; Rice, 1980; Bushby, 1982). Es ist umstritten, bis zu welchem Grad die Austrocknung und das Absterben der Knöllchen nach einer erneuten Befeuchtung reversibel ist.

Nach Rice und Olsen (1988) ist eine ausreichende Wasserversorgung zur Saat und in den folgenden beiden Monaten entscheidend für eine erfolgreiche Entwicklung von aktiven Knöllchen. Dementsprechend stellten sie bei Trockenheit nur eine sehr geringe Wirkung der Inokulierung mit aktiven Stämmen fest.

1.4.12. Hitzeschädigung

Rhizobium-Bakterien können durch Hitze stark geschädigt werden. Bushby (1982) nennt einen Wert von 40°C als kritisch für das Überleben der meisten *Rhizobium*-Stämme. Da verschiedene aktive und nicht aktive *Rh. meliloti*-Stämme unterschiedlich tolerant gegenüber Wärme sind, kann sich die Konkurrenzfähigkeit der Stämme untereinander bei hohen Temperaturen verschieben.

Baldani und Weaver (1992) führen die oft ungenügende Überlebensfähigkeit inokulierter *Rhizobium*-Stämme auf eine mangelnde Toleranz gegenüber Wärme- und Wasserstreß am neuen Standort zurück.

1.4.13. Frost

Insbesondere Spätfröste können die Luzernepflanzen im Frühjahr stark am Wurzelhals schädigen. Ein gestörter Transport von Kohlehydraten in die Wurzel kann zu einer Störung der Stickstofffixierung der Knöllchen führen.

1.4.14. Krankheiten und Schädlinge

Eine Reihe von Krankheiten und Schädlingen, wie *Verticilium*-Welke, *Rhizoctonia*, *Sclerotia*, *Fusarium* und die Larven des Luzernerüsslers (*Brachyrhinus ligustici*), die den Wasser- und Nährstofftransport innerhalb der Pflanze stören, können dadurch auch eine starke Beeinträchtigung der Fixierungsleistung der Knöllchenbakterien bis zu deren Absterben hervorrufen. Besonders zu erwähnen ist der Blattrandkäfer (*Sitona lineatus*), dessen Larven sich direkt von Knöllchen ernähren (Heinze, 1983).

1.4.15. Mykorrhiza

Eine Impfung von Luzernepflanzen mit Mykorrhiza führt nicht nur zu höheren N- und P-Gehalten, sondern auch zu einem besseren Knöllchenbesatz, einer höheren Knöllchenaktivität sowie einem höheren Anteil symbiotisch fixierten Luftstickstoffs am Gesamt-N-Gehalt der Pflanze (Barea et al., 1989, Patterson et al, 1990).

1.4.16. Allelopathie

Luzerne besitzt eine hohe Nichtselbstverträglichkeit. Obwohl in der Regel Pflanzenkrankheiten und Schädlinge dafür verantwortlich gemacht werden, weisen Untersuchungen auch auf starke allelopathische Wirkungen hin, die von Luzernepflanzen ausgehen. Allelopathische Wirkungen werden insbesondere beobachtet, wenn große Teile des Aufwuchses auf dem Feld bleiben (Oleszek et al., 1992; Miller, 1992).

1.5. Fragestellung

In der vorliegenden Arbeit sollte untersucht werden, welche Gründe für den geringen Knöllchenbesatz der Luzernewurzeln sowie die gehemmte Stickstofffixierungsleistung der Knöllchen verantwortlich gemacht werden können.

Bei der Durchführung der Untersuchungen war es ein erklärtes Ziel, die Versuche unter Praxisbedingungen durchzuführen.

Damit sollte gewährleistet werden, daß Ergebnisse gefunden werden, die eine praxisrelevante Verbesserung des Knöllchenwachstumes mit sich bringen können.

Ausgearbeitet werden sollte ein Lösungsvorschlag, der es den Betrieben erlaubt, die Fixierung molekularen Luftstickstoffes durch Knöllchenbakterien in Symbiose mit Luzerne soweit zu verbessern, daß in Verbindung mit einer geeigneten Fruchtfolgeplanung und einer guten Ausnutzung betriebseigener Wirtschaftsdünger auf den Einsatz mineralischer Stickstoffdünger verzichtet werden kann.

Dabei müssen die Verfügbarkeit entsprechender Hilfsstoffe auf den Betrieben sowie die betriebswirtschaftliche Rentabilität von eventuellen Maßnahmen unbedingt gegeben sein.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1. Standort

2.1.1. Auswahl

Die beiden am IFOAM/ VASChNIL-Projekt über die Umstellung landwirtschaftlicher Betriebe in der ehemaligen UdSSR auf die Methoden des ökologischen Landbaus beteiligten Betriebe in der zentralrussischen Schwarzerdezone sind der Kolchos "Putj Lenina" im Verwaltungsgebiet Orjol und der Kolchos "40 Jahre Oktober" im Verwaltungsgebiet Kursk. Wegen der besseren infrastrukturellen Möglichkeiten wurden die Untersuchungen auf dem Kolchos "40 Jahre Oktober" durchgeführt.

2.1.2. Die gesellschaftlichen und landwirtschaftlichen Rahmenbedingungen auf dem Kolchos "40 Jahre Oktober"

Der Kolchos "40 Jahre Oktober" kann strukturell als typisch für das zentralrussische Schwarzerdegebiet gelten. 7000 Hektar sind auf fünf Brigaden verteilt, die relativ selbstständig voneinander arbeiten. Die fünf Brigaden bestehen auf der Basis der einzelnen, ehemals selbstständigen Dörfer. Zu jeder Brigade gehört ein eigener Maschinenpark und ein eigener Viehbestand von ca. 1500 GV (zum größten Teil Milchkühe mit Nachzucht, daneben Schweine und Schafe). In jeder Brigade leitet ein Agronom (Agraringenieur Pflanzenbau) mit Fachhochschulabschluß die pflanzenbaulichen Maßnahmen. Zentral von der Kolchosleitung werden Einkauf von Betriebsmitteln und der Absatz der produzierten Ware organisiert. Außerdem werden die Anbauvorgaben für die einzelnen Brigaden ausgearbeitet. Ein leitender Agronom mit Universitätsabschluß stellt die pflanzenbaulichen Richtlinien auf und überwacht deren Ausführung.

Fast alle der 550 im Kolchos beschäftigten Mitarbeiter halten privat Geflügel, Mastschweine und 1 - 2 Kühe, vereinzelt Muttersauen, Schafe und Pferde. Im Nebenerwerb werden auf 0,5 ha pro Familie Kartoffeln und Gemüse angebaut.

Alle Familien leben in Einfamilienhäusern, meist in traditioneller Holzbauweise. In Eigenarbeit wurde teilweise eine eigene Wasserversorgung (Brunnen) geschaffen. Ansonsten dienen Ziehbrunnen an den Dorfstraßen zur Wasserversorgung.

Die Straßen sind bis auf die Verbindungsstraße Ugony - Emanuilovka nicht befestigt und bereits nach wenigen Millimetern Niederschlag nur noch mit geländegängigen Fahrzeugen befahrbar.

1990 wurde begonnen, ca. 1500 ha auf ökologischen Anbau umzustellen. Wirtschaftliche Überlegungen spielten bei dieser Entscheidung eine wichtigere Rolle als ideologische

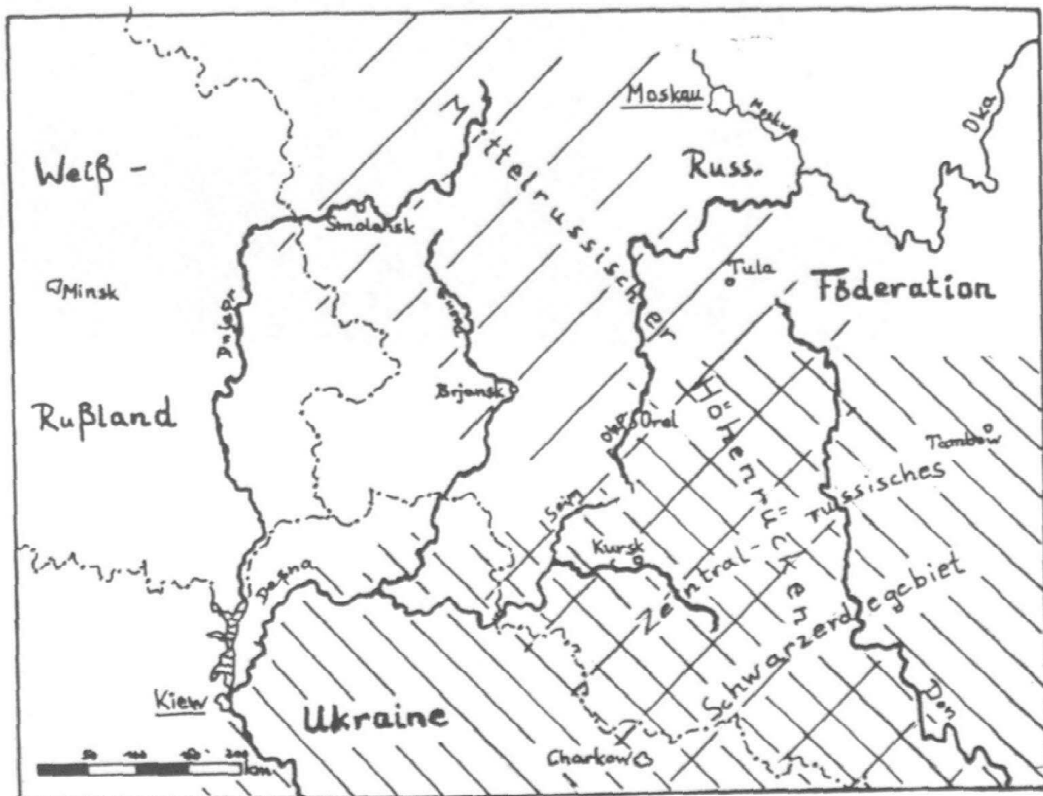
Gründe. Neben dem Anbau von Roggen, Hafer und Luzerne-Gras-Gemenge wurden auf den Umstellungsflächen Hirse und Buchweizen in die Fruchtfolge integriert.

2.1.3. Die naturräumlichen Rahmenbedingungen am Versuchsstandort

2.1.3.1. Geologie und Geomorphologie

Der Landkreis Lgov, zu dem die Flächen des Betriebes gehören, liegt im südwestlichen Teil des mitterrussischen Höhenrückens. Der mitterrussische Höhenrücken erstreckt sich von der Don-Niederung im Osten bis zur Dnjepr-Niederung im Westen. Im Norden wird der Höhenrücken durch den Fluß Oka begrenzt. Im Süden entspricht die Grenze dem Verlauf der Russisch-Ukrainischen Staatsgrenze. Der nördliche Rand des Höhenrückens fällt annähernd mit der südlichen Grenze der größten (Dnjepr)- Vereisung zusammen.

Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes



Den Untergrund bilden präkambrische metamorphe Gesteine. Weit verbreitet sind granitische Gneise, kristalline Schiefer und Eisenquarzite. Diese sind von Ablagerungen aus der Kreidezeit, größtenteils Mergel, und vereinzelt von sandig-tonigen Schichten aus dem Tertiär mit 30 bis 500 m Mächtigkeit überlagert.

Der gesamte mitterrussische Höhenrücken ist stark periglazial geprägt. Mächtige Lößablagerungen, die vom Norden hin zur Mitte des Gebietes Mächtigkeiten von 1,5 bis 15 m erreichen, bilden das Ausgangsmaterial für die holozäne Bodenbildung. Im zentralen Schwarzerde - Nationalpark "Streljetskaja stepj" unweit des Untersuchungsgebietes lassen

sich drei Schichten quartärer Ablagerungen differenzieren: Eine obere zwei bis drei Meter mächtige Schicht aus tonigem Schluff über etwa fünf Meter Ablagerungen aus Schluff. Darunter liegen tonige Ablagerungen (Afanasjeva, 1966). Während im zentralen und östlichen Teil des Höhenrückens keine Paläoböden nachgewiesen wurden, sind diese im westlichen Teil weit verbreitet (Nabokych, 1914 bei Afanasjeva, 1966). Foto 1 zeigt einen Paläoboden an einem Aufschluß, der durch einen Hohlweg auf dem Gelände der untersuchten Kolchose entstanden ist.



Foto 1: Paläoboden auf dem Gelände der Kolchose "40 Jahre Oktober"

Das Relief ist geprägt durch eine geneigte wellige Hochebene, die steil durch Flußtäler, Schluchten und Einschnitte durchteilt ist. Die geomorphologische Ausbildung des Reliefs vollzog sich unter periglazialen Bedingungen. Reliefbildende Elemente sind Solifluktion und die Ausbildung weiter, tiefer Taleinschnitte (Miljkov, 1983). Im Gebiet von Lgov treten Mergelablagerungen der Oberkreide an Steilhängen an die Oberfläche (Miljkov, 1983). Auf den Flächen des untersuchten Kolchoses sind diese tertiären Ablagerungen nur geringmächtig von Löß überdeckt und treten an Schluchten und im Sejm-Tal an die Oberfläche.

2.1.3.2. Klima

Das Klima im Gebiet Kursk ist überwiegend kontinental geprägt. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei $+5,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Das Monatsmittel des kältesten Monates (Januar) beträgt $-9,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, das des wärmsten Monates (Juli) $+19,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Allerdings können während aller Wintermonate auch Temperaturen über dem Gefrierpunkt auftreten. Die Vegetationsperiode (Tagesmittel $> 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) dauert durchschnittlich 186 Tage. Der Niederschlag beträgt

im Jahresmittel 550 mm mit dem Niederschlagsmaximum im Sommer (200 mm). Der Evaporationskoeffizient liegt in den Sommermonaten bei 0,5-0,7. Während der Vegetationsperiode treten besonders im Frühjahr regelmäßig Trockenperioden auf.

2.1.3.3. Potentielle natürliche Vegetation

Das Untersuchungsgebiet gehört zum Gebiet der zentralrussischen Waldsteppe. Die potentielle natürliche Vegetation besteht aus Steppengräsern und parkähnlichen Eichenwäldern. Von der ursprünglichen Vegetation sind aufgrund der intensiven landwirtschaftlichen Nutzung nur noch im Nationalpark "Streletskaia Stepj" Fragmente erhalten.

2.1.3.4. Böden

a) Böden des Großraumes

Bodengeographisch liegt das Gebiet in der Übergangszone zwischen der nördlicheren Zone der südlichen Taiga mit vorherrschenden grauen Waldböden und Podsoluvisols und der südlicheren zentralrussischen Waldsteppe (Gerasimova, 1987). In der zentralrussischen Waldsteppe herrschen entbaste und Tipitschnije Tschernozjeme vor, die örtlich mit degradierten Tschernozjemen, grauen Waldböden und reliefabhängig mit Wiesentschernozjemen vergesellschaftet sind (Miljkov, 1983; Afanasjeva, 1966; Schevtschenko, 1991).

Tipitschnije und entbaste Tschernozjeme unterscheiden sich durch das Vorkommen freier Karbonate im Profil. Bei den entbasten Tschernozjemen liegt die Obergrenze freier Karbonate unterhalb des A-Horizontes.

Degradierte Tschernozjeme unterscheiden sich von Tipitschnijen und entbasten Tschernozjeme durch eine einsetzende Lessivierung. Ihr Übergang zu den grauen Waldböden ist fließend. Wiesentschernozjeme zeichnen sich durch ihren hohen Grundwasserstand und den damit verbundenen hydromorphen Merkmalen aus.

In ihrer hervorragenden ackerbaulichen Nutzbarkeit unterscheiden sich Tipitschnije und entbaste Tschernozjeme nicht. Hauptnutzungsformen sind der Anbau von Winterweizen und Zuckerrüben. Degradierte Tschernozjeme und graue Waldböden haben einen geringeren Humusgehalt, einen höheren Anteil an Fulvosäuren in der organischen Substanz und einen niedrigeren pH-Wert. Trotzdem bieten diese Böden noch gute ackerbauliche Voraussetzungen. Bei Wiesentschernozjemen wird die ackerbauliche Nutzung durch den hohen Grundwasserstand eingeschränkt (Kovdy und Rozanova, 1988; Afanasjeva, 1966).

Die A-Horizonte der Tipitschnij und entbasten Tschernozjeme des zentralrussischen Schwarzerdegebietes haben im Nationalpark "Streljetskaia stepj" eine Mächtigkeit von 80-120 cm mit einem Humusgehalt von 8 - 12 % an der Bodenoberfläche und 2 % an der unteren

ren Horizontgrenze. Der Humusvorrat beträgt 300 - 400 t/ha (0-50 cm) bzw. 500- 600 t/ha (0-100cm).

Die pH-Werte (H₂O) liegen bei 6,6-6,8 im Oberboden, 6,4-6,5 in 40-50 cm Tiefe und im karbonathaltigen Horizont bei 8,2-8,4. Die Werte für austauschbares Kalium liegen bei 200 mg K₂O/ kg Boden im Oberboden und 120 mg/ kg in 40-80 cm Tiefe. Die Werte für pflanzenverfügbares P₂O₅ (Methode nach Tschirikov) liegen bei 100 mg/ kg im Oberboden (Afanasjeva, 1964; Afanasjeva, 1966; Schevtschenko, 1991). Suchareva et al. (1978) fanden bei der Untersuchung von 138 kalkfreien Schwarzerdeböden durchschnittliche Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphor von 13,23 (nach Tschirikov) bzw. 9,42 (AL-Methode) mg P₂O₅/ 100 g Boden.

Die Gesamt-N-Gehalte liegen in Oberböden von Tipitschnij Tschernozjeme bei 0,4-0,5 % in landwirtschaftlich genutzten und bei 0,5-0,6 % in nicht landwirtschaftlich genutzten Böden. Das entspricht ca. 10.000 kg/ha in 0-20 cm (Afanasjeva, 1966; Ponomareva und Plotnikova, 1980).

Durch langjährige intensive Bearbeitung haben sich sowohl die physikalischen als auch die chemischen Bodeneigenschaften merklich verschlechtert. Dabei ist insbesondere auch ein Rückgang des Humusgehaltes zu verzeichnen (Ponomareva und Plotnikova, 1980; Schevtschenko, 1991).

Für das Untersuchungsgebiet weist die Bodenkarte von Dokutschajev aus dem Jahre 1879 Humusgehalte von 4-7 % aus (Dokutschajev, 1954). Damit lagen die Humusgehalte der Böden des Untersuchungsgebietes zu dieser Zeit relativ zu anderen Schwarzerdegebieten (Tambov, Lipetsk) niedrig (Aderichin, 1964). Neben dem Humusabbau stellt Aderichin beim Vergleich landwirtschaftlich genutzter und ungenutzter Tschernozjeme beträchtliche pH-Absenkungen in genutzten Böden fest. Dies deckt sich mit Untersuchungen von landwirtschaftlich genutzten Schwarzerde-Böden im Norden der USA und Kanada (Allmaras et al., 1978; Mahler, 1981).

Deutliche Änderungen ergaben sich durch die landwirtschaftliche Nutzung in den bodenphysikalischen Kennwerten der Schwarzerden. Der Anteil der Aggregate der 1-5 mm-Fraktion ging nach 30 jähriger Ackernutzung von durchschnittlich 70 % auf 30 % zurück. Drastische Verschlechterungen sind beim Vergleich gepflügter und natürlicher Schwarzerdeböden in Bezug auf die Aggregatstabilität festzustellen (Aderichin, 1964).

b) Böden des Untersuchungsgebietes

Bodentypologisch handelt es sich auf allen beprobten Flächen des Kolchos "40 Jahre Oktober" nach der russischen Bodenklassifikation (Kovdy und Rozanova, 1988) um Tipitschnije Tschernozjeme. Nach der US Soil Tax wurde ein Entic Haploboroll, nach FAO

ein Haplic Chernozem und nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung der DBG ein Kalkhaltiger Tschernosem kartiert.

Ein Leitprofil zeigte die folgenden Merkmale:

Tabelle 1: Beschreibung des Leitprofils

| Horizont | Tiefe | Beschreibung |
|----------|-----------|---|
| Ap | 0-28 cm | dunkelgrau bis schwarz, Krümelgefüge, viele Feinwurzeln, Wurmgänge, mittlere Dichte. |
| Ah1 | 28-48 cm | bräunlich - dunkelgrau, Krümel-Subpolyeder, braune Krotowinen, mittlere Durchwurzelung. |
| Ah2 | 48-82 cm | bräunlich - dunkelgrau, freie Karbonate, Krümel-Subpolyeder, braune und schwarze Krotowinen, geringe Durchwurzelung. |
| Ah3 | 82-105 cm | Dunkelbraun, dunkle und braune Krotowinen, Ausfällungen von Karbonaten als Pseudomycele, Krümel-Subpolyeder, lassen sich leicht zu Pulver zerdrücken. |
| Cv | 105 cm + | beige, Einzelkorngefüge, Karbonate als Pseudomycelien und kleine weiße Flecken. |

Die bodenphysikalischen und bodenchemischen Kenndaten für das Leitprofil werden in Teil 3.1. gegeben.

2.1.4 Pflanzenmaterial

Im Versuch wurde, wie in der Praxis der Region üblich, Luzerne der Art *Medicago varia* (= *Medicago media*; Bastardluzerne) verwendet. Die Bastardluzerne gilt als eine Hybridart aus den Arten *Medicago falcata* (Sichelluzerne) und *Medicago sativa* (Saatluzerne).

Medicago falcata zeichnet sich durch eine höhere Krankheitsresistenz, bessere Winterhärte und einen höheren Eiweißgehalt gegenüber *Medicago sativa* aus. Die Vorteile von Medi-

cago sativa sind der höhere Ertrag und das bessere Nachwuchsvermögen. Medicago varia nimmt in ihren Eigenschaften eine Mittelstellung zwischen M.sativa und M.falcata ein.

Die europäischen Sorten sind zumeist der Bastardluzerne zuzuordnen, wobei der Falcata-Anteil im Erbgut von West nach Ost und von Süd nach Nord zunimmt. Die im Versuch verwendete Sorte war "Slavjanskaja mestnaja", die in der Region häufig verwendet wird.

2.1.5. Witterungsbedingungen im Versuchszeitraum

Die Vegetationsperiode 1991 war kühl im Frühjahr, sehr heiß im Sommer und kühl im Herbst. Es fiel regelmäßig ausreichend Niederschlag.

Die Vegetationsperiode 1992 war geprägt durch eine lang anhaltende Trockenheit ohne Niederschlag von April bis Ende August. Der Sommer war sehr heiß (teilweise $> 40^{\circ}\text{C}$).

2.2. Versuchsaufbau

Der Versuchsansatz wurde in zwei Teile untergliedert. Im Versuchsteil A sollten durch eine Inventur der vorhandenen Luzernebestände Informationen über die ökologischen Bedingungen für den Knöllchenbesatz aus der standörtlichen Variabilität gezogen werden. Eine Korrelation von Boden- und Pflanzenparametern der einzelnen Probeflächen sollte Auskunft über verschiedene Faktoren geben, die Knöllchenbesatz, Trockenmasseertrag und N-Gehalt der Luzerne beeinflussen.

Im Versuchsteil B wurde durch eine diagnostische Saatgutbehandlung ein gezielter Eingriff vorgenommen. Dabei wurden anhand eines Feldversuches verschiedene Behandlungsvarianten des Saatgutes sowie bodenchemische Faktoren auf ihre Wirkung auf Knöllchenbesatz, Trockenmasseertrag und N-Gehalt der Luzerne hin untersucht.

2.2.1. Versuchsteil A

Auf sieben Feldern des Kolchos "40 Jahre Oktober" (mit jeweils 10 - 150 ha) wurden im Frühjahr 1991 insgesamt 28 unterschiedlich wüchsige Teilflächen ausgeschieden, die im ersten oder zweiten Hauptnutzungsjahr mit Luzerne-Gras-Gemengen angesät waren. Auf allen Flächen war neben der gesäten Luzerne ein mehr oder weniger großer Anteil an Rotkleepflanzen vorhanden, der wahrscheinlich als Verunreinigung im Luzernesaatgut zur Aussaat kam.

Die Beschreibung der Felder und die Anzahl der ausgeschiedenen Teilflächen zeigt Tabelle 2.

Tabelle 2: Beschreibung der Felder und Teilflächen

| Nummer u. Name | Anzahl der | Probenahmepunkte | Beschreibung des Feldes |
|------------------------|-------------------|-------------------------|---|
| 1: Klischino | 5 | | 130 ha, Bestand im zweiten Hauptnutzungsjahr, unregelmäßig, Luzerne teilweise ganz ausgefallen, starker Queckenbesatz. |
| 2: Brigade | 1 | | 20 ha, alter Bestand (3 oder 4 Jahre), ungepflegt, teilweise beweidet, Bestand sehr schlecht. |
| 3: Passik, v.W. | 2 | | 10 ha, sehr dichter guter Bestand, Mischsaat von Esparsette, Klee und Luzerne, gleichmäßig. |
| 4: Passik, h.W. | 2 | | 10 ha, feuchte Wiese, Ansaat von Luzerne und Steinklee, kaum geglückt, hauptsächlich Gräser. |
| 5.: Neuwiese | 8 | | 150 ha, sehr unregelmäßig, Ende August 1990 gesät, sehr stark verunkrautet, Luzernebestand gut bis sehr schlecht. |
| 6: Altwiese | 4 | | 130 ha, recht regelmäßig, im Juli 1990 gesät, von den Leguminosen 30% Rotklee, viel Ausfallroggen, Bestand gut. |
| 7: Emanuilovka | 5 | | 150 ha, Luzernebestand im zweiten Hauptnutzungsjahr, unregelmäßig, hoher Krankheitsbefall, verunkrautet, stark verqueckt. |

Da die Felder 2,3,4 sich im Verlauf der Vegetationsperiode als untypisch herausstellten (sehr alter Bestand, sehr feucht), wurden in der weiteren Betrachtung nur die Felder 1,5,6 und 7 berücksichtigt.

Eine ausführliche visuelle Beschreibung der Probennahmepunkte findet sich im Anhang.

Die Wüchsigkeit variierte teilweise sehr stark auf engstem Raum. Daher konnten Boden- und Pflanzenparameter nur auf kleinstem Raum betrachtet werden. Zu diesem Zweck wurden die Pflanzen kurz vor der Ernte (Luzerne: Ende Knospenstadium) auf der Fläche von 1x1 m geerntet. Auf dieser Fläche wurden anschließend die Bodenproben gezogen. Auf jedem unterschiedlich wüchsigen Teilstück wurden 2-3 solcher Quadrate beprobt. Dabei stellen die einzelnen Quadrate teilweise keine echten Wiederholungen dar sondern typische Pflanzenbestände für ein Teilstück. Die damit getroffenen Aussagen sind damit nicht auf eine größere Fläche übertragbar, sondern gelten nur für die direkt beprobten Flächen. Ziel der Beprobung war es, eventuelle Korrelationen zwischen verschiedenen Boden- und Pflanzenparametern auf den beprobten Flächen zu ermitteln.

2.2.2. Versuchsteil B

Im Versuchsteil B wurde die Wirkung von handelsüblichen Rhizobiumpräparaten, einer Inkrustierung des Luzernesaatgutes mit Kalk und einer Impfung des Saatgutes mit Molybdän untersucht. Bei der Auswertung wurden weiterhin verschiedene, im Rahmen des Versuches bestimmte, bodenchemische Parameter aufgenommen.

Im Frühjahr 1991 wurde im Rahmen der Ansaat eines 150 ha großen Feldes mit einem Luzerne-Gras-Gemenge auf einer 5 ha großen Teilfläche vor der Aussaat eine Behandlung des Saatgutes durchgeführt.

Alle Angaben beziehen sich auf eine Saatmenge von 6 kg Luzernesamen. Dies entspricht der Aussaatmenge für eine Parzelle bei einer Aussaatstärke von 18 kg/ ha.

Durchführung der Behandlungen:

1) Impfung mit einem kommerziellen Rhizobium meliloti - Präparat.

Nach der Anweisung der Hersteller wurden die Luzernesamen in einem Eimer leicht mit Wasser benetzt (300 ml), mit Präparat vermischt und im Schatten auf einer Plastikfolie ausgebreitet getrocknet (ca. 30 min). Die beiden benutzten Handelspräparate waren Radicin der Firma Radicin-Institut GmbH, Iserlohn und Nitragin der Firma Nitragin Company, Milwaukee/ Wisconsin.

Das Präparat Radicin ist ein reiner Rhizobium meliloti-Impfstoff (Stamm 220), bei dem Präparat Nitragin handelt es sich um eine Mischung aus Rhizobium meliloti und Rhizobium trifolii.

2) Behandlung der Samen mit Molybdän

3 Kaffeelöffel Gummi arabicum wurden in 100 ml Wasser aufgelöst. Alle Samen wurden mit der Emulsion benetzt. Danach wurden 20 g Natriummolybdat-Dihydrat dazugegeben, vermischt und ebenfalls im Schatten auf einer Plastikfolie getrocknet.

3) Inkrustierung der Samen mit Kalk

Die Samen wurden mit Wasser und Gummi arabicum benetzt. Danach wurden schrittweise 3 kg Carbo-Kalk, ein Abfallprodukt aus der Zuckerrübenverarbeitung, mit dem Saatgut vermischt, so daß alle Samen mit einer dünnen Kalkschicht überzogen waren. Danach wurde ebenfalls auf einer Plastikfolie im Schatten getrocknet.

4) Alle Parameter wurden zusätzlich miteinander kombiniert. Bei der Behandlung des Saatgutes mit mehreren Stoffen wurde in der Reihenfolge Rhizobium - Molybdän - Kalk vorgegangen.

Daraus ergaben sich die folgenden Varianten:

- Radicin = (R)
- Nitragin = (N)
- Molybdän = (M)
- Kalk = (K)
- Radicin + Molybdän = (RM)
- Radicin + Kalk = (RK)
- Nitragin + Molybdän = (NM)
- Nitragin + Kalk = (NK)
- Kalk + Molybdän = (KM)
- Radicin + Molybdän + Kalk = (RMK)
- Nitragin + Molybdän + Kalk = (NMK)
- Kontrolle = (O)

Die Ansaat der Luzerne erfolgte praxisüblich als Untersaat zu Sommergerste 3 - 5 Tage nach der Aussaat der Deckfrucht und quer zur Hauptbearbeitungsrichtung. Die riesigen Ausmaße der Felder (1,5 km x 1 km) lassen eine Aussaat der Luzerne quer zur Hauptbearbeitungsrichtung ohne eine Beeinträchtigung der Arbeitsleistung zu. Die Aussaatstärke betrug 18 kg Luzerne + 3 kg Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*) pro Hektar. Die Aussaatstärke der Deckfrucht Sommergerste betrug 230 kg/ha (450 Körner/m²).

Die Vorfrucht war ein Wicken-Erbсен-Hafer - Gemenge, das Anfang Juli geerntet wurde. Eine Woche nach der Ernte des Gemenges wurde das Feld umgebrochen und im darauffolgenden Frühjahr zur Saat mit einer Saatbeetkombination (Typ RVK-3,6) hergerichtet.

Anlage der Versuchspartzellen, Wiederholungen:

Leider war es aus arbeitstechnischen Gründen nicht möglich, den Versuch vollständig randomisiert anzulegen. Vielmehr wurde auf dem ausgeschiedenen Versuchsteilstück (50 m x 850 m) je Variante ein Streifen von 3,60 m Breite über die gesamte Länge ausgesät. Da das Luzernegemenge jedoch quer zur Hauptbearbeitungsrichtung gesät wurde, kann davon ausgegangen werden, daß bestehende Inhomogenitäten im Boden in der Längsrichtung des Versuches (insgesamt 850 m), und damit innerhalb einer Variante bedeutend größer sind als in der Breite des Versuchsanlage (insgesamt 50 m), d.h. zwischen den Varianten.

In der Länge des Versuchsfeldes wurden nach dem Zufallsprinzip bei jeder Probennahme alle 100 m 5 m breite Wiederholungen ausgeschieden. Bei augenfälligen Inhomogenitäten wie Fahrspuren, ehemalige Strohhaufen oder Gruben wurde die Wiederholung um 20 m verschoben.

Bild 2 zeigt das Versuchsfeld aus Versuchsteil B bei der Vorbereitung des Saatbeetes.



Foto 2

Aus arbeitstechnischen Gründen konnte die Sämaschine nicht vor jeder Variante neu eingestellt werden. Dadurch konnten die Aussaatstärken um 10 - 20 % variieren. Dies dürfte

jedoch auf die Versuchsergebnisse keinen Einfluß haben, da eventuelle Unterschiede im Ertrag, die aufgrund variierender Aussaatstärken zustande kommen können, von den Beeinträchtigungen überlagert werden, die vom unterschiedlich starken Wachstum der Deckfrucht ausgehen.

Im Rahmen des Feldversuches wurden zu den Terminen Herbst 1991, Mai 1992 und Juli 1992 der Knöllchenbesatz der Luzernepflanzen, der Trockenmasseertrag, die N-, P-, und K-Gehalte der Pflanze, sowie die Bodenparameter pH, NO_3 , pflanzenverfügbares P_2O_5 und austauschbares Kalium, leicht hydrolysierbarer organischer Stickstoff, pflanzenverfügbares Molybdän, Lagerungsdichte und Aggregatstabilität bestimmt.

Auf den im Juli abgeernteten Probeflächen wurde im August 92 noch einmal eine Bestimmung von Trockenmasseertrag, N-,P-,K-Gehalte der Pflanzen sowie der pH-Wert der Böden bestimmt.

Auf dem Versuchsfeld (Teil B) wurde ein Leitprofil angelegt. An diesem Leitprofil wurden für alle ausgeschiedenen Horizonte die Korngrößenverteilung, die Gesamt-Gehalte an C, N, SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , MnO , CaO , MgO , SO_3 , P_2O_5 , Cl, K_2O , und Na_2O , der pH-Wert, die Basenneutralisationskapazität, sowie die Menge der austauschbaren Kationen Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ und K^+ bestimmt.

2.3. Probennahme/ Probenaufbereitung

2.3.1. Versuchsteil A

Zum Erntezeitpunkt im Juni 1991 wurden felderweise jeweils Pflanzen- und Bodenproben genommen und frisch am jeweiligen Erntetag in das agrochemische Labor der landwirtschaftlichen Versuchsanstalt Lgov gebracht.

In den Tagen kurz vor der Ernte wurde an den beprobten Flächen eine Knöllchenbonitur (siehe Kap.2.4.1.) durchgeführt.

Bei der Ernte wurden mit einer Sichel der Pflanzenbestand von zwei je 1 m^2 großen Flächen je Probenfläche ca. 10 cm über dem Boden geschnitten. Die Proben wurden frisch in das Agrochemisches Untersuchungslabor der landwirtschaftlichen Versuchsanstalt nach Lgov gebracht. Dort wurden die Proben nach den Pflanzengruppen Luzerne, Klee, übrige Kräuter und Gräser sortiert und gewogen. Ein Teil jeder Probe wurde zur Bestimmung des Trockenmasse-Gehaltes eingewogen. Der Rest der Proben wurde an der Luft getrocknet und bis zur späteren Bestimmung der Elementgehalte aufbewahrt.

Im Erntezeitraum wurden auf jeder ausgeschiedenen Teilfläche mit einem Pürkhamer-Bohrstock aus dem Oberboden (0-30 cm) eine Bodenprobe gezogen. Dabei wurde das Bodenmaterial aus 16 Einschlügen (jeweils 0-30 cm) je Teilstück ($=2 \times 1 \text{ m}^2$) in einem Eimer zu einer Mischprobe vermischt. Eine repräsentative Probe wurde in Gefriertüten gefüllt und lose verschlossen.

Die Proben wurden in einer Kühltasche aufbewahrt und am Tag der Probennahme in das Labor nach Lgov gebracht. Dort wurde an einem Teil der frischen Proben der N_{\min} -Gehalt bestimmt. Das restliche Probenmaterial wurde an der Luft getrocknet und zur späteren Analyse der bodenchemischen Parameter aufbewahrt.

Zur Bestimmung der bodenphysikalischen Parameter wurden gleichzeitig mit der Probenahme für die bodenchemische Analyse von jeder Teilfläche mit einer Handschaufel von mehreren zufällig ausgewählten Stellen aus dem Oberboden (0-10 cm) Bodenproben genommen. Die groben Schollen der Proben wurden leicht mit der Hand zerkleinert und die Proben an der Luft getrocknet. Bei der Entnahme der Bodenproben wurden auf einem Teil der Flächen mit Stechzylindern Bodenproben zur Bestimmung der Lagerungsdichte (3 Wiederholungen) genommen.

2.3.2. Versuchsteil B

Zu einem Termin (Juli 1992) wurde auf 6 Wiederholungen jeweils 0,5 m² große Flächen die Luzernepflanzen mit einem Messer geerntet. Eine Sortierung nach Pflanzenarten war nicht notwendig, da die Luzerne praktisch im Reinbestand stand. Eine beabsichtigte Ernte im Herbst 1991 erwies sich als nicht sinnvoll, da die geerntete Deckfrucht Sommergerste sich sehr unterschiedlich entwickelt hatte und aus diesem Grund auch die Luzerne sehr ungleichmäßig entwickelt war.

Zum Probenahmetermin im Mai wurden lediglich die Pflanzen von den Plots (15x15 cm) geerntet, die zur Bestimmung der Knöllchenzahl ausgegraben wurden. Damit sollte weniger der absolute Ertrag, als vielmehr die relative Wüchsigkeit der einzelnen Teilstücke zum Probenahmetermin bestimmt werden.

Zum Probenahmetermin im August wurden die Pflanzen lediglich zur Bestimmung der Nährstoffgehalte geerntet. Eine Bestimmung des TM-Ertrages war aus organisatorischen Gründen nicht möglich.

Die geernteten Luzerneproben wurden an der Luft getrocknet, gewogen und eine Mischprobe zur weiteren Bestimmung der Inhaltsstoffe aufbewahrt.

Im Herbst 1991, im Mai 1992, sowie Ende Juli 1992 wurden auf den beprobten Teilstücken in den verschiedenen Varianten Luzernepflanzen im Bodenquader (15x15x15 cm) ausgegra-

ben. Auf dem Feld wurde die Erde mit der Hand sorgfältig von den Wurzeln abgelöst und dabei die Anzahl der aktiven Knöllchen gezählt.

Aus dem Wurzelbereich der ausgegrabenen Pflanzen wurden mit der Hand Bodenproben genommen, an der Luft getrocknet und für die bodenchemische und -physikalische Laboranalyse aufbewahrt.

Die zeitliche Abfolge aller durchgeführten Maßnahmen ist dem Anhang zu entnehmen.

2.4. Untersuchungsmethoden

2.4.1. Knöllchenbonitierung

Für die Knöllchenbonitierung im Versuchsteil A wurden an jedem Beprobungspunkt mehrere Luzerne- und Rotkleepflanzen ausgegraben. Für jede Probefläche wurden visuell Anzahl, Größe und Aktivität der Knöllchen bestimmt und auf einer sechsteiligen Skala (0-5) bewertet.

Darüber hinaus wurde je Teilfläche ein Bodenpedon (ca. 30 x 30 x 30 cm) mit Luzerne- oder Kleepflanzen ausgegraben. Diese Bodenquader wurden anschließend auf den Hof gebracht, die Wurzeln sorgfältig gewaschen und die bei der Feldbonitierung gewonnenen Ergebnisse anhand der genannten Parameter überprüft.

Die Bewertungsskalen für die einzelnen Parameter waren:

Tabelle 3: Bewertungsskala für Quantitativen Knöllchenbesatz

| | |
|----------|--|
| 5 | sehr dicht besetzt |
| 4 | dicht besetzt, einzelne Fehlstellen, 100 - 150 Knöllchen je Pflanze bzw. Pflanzenbüschel |
| 3 | locker besetzt, 20 - 100 Kn. je Pflanze (-nbüschel) |
| 2 | wenig besetzt, einzelne Nester, kaum von Bedeutung |
| 1 | vereinzelte Knöllchen |
| 0 | Knöllchen nicht vorhanden |

(Die Mengenangabe beziehen sich auf ca. 1000 ccm Wurzelraum)

Tabelle 4: Bewertungsskala für die Aktivität der Knöllchen

| | |
|---|---|
| 5 | frisch, fast ganz rot |
| 4 | frisch, deutlich, mindestens die Hälfte rot |
| 3 | frisch, aber wenig rot gefärbt, teilweise beige |
| 2 | beige, schwach rötlich |
| 1 | weiß, braun |
| 0 | in Zersetzung begriffen |

Tabelle 5: Bewertungsskala für die Größe der Knöllchen

| | |
|---|--|
| 5 | alle Knöllchen länglich, dick |
| 4 | Knöllchen teilweise wie 5, teilweise wie 3 |
| 3 | länglich, dünn oder rundlich mittelgroß |
| 2 | Knöllchen teilweise wie 3, teilweise wie 1 |
| 1 | sehr klein, punktförmig |

Im Versuchsteil B wurden mit einem Spaten 15 x 15 x 20 cm große Bodenquader in einer Luzernenreihe freigelegt. Mit den Fingern wurde sorgfältig die Erde um die Wurzel entfernt und dabei die aktiven Knöllchen gezählt.

2.4.2. Labormethoden (Versuchsteile A und B)

Die Analysen der Boden- und Pflanzenproben wurden in den beiden Versuchsteilen A und B sowie in den beiden Versuchsjahren in den folgenden Instituten nach teilweise verschiedenen Methoden durchgeführt:

Lgov: Agrochemisches Untersuchungslabor der landwirtschaftlichen Versuchsanstalt in Lgov (Versuchsteil A)

VIUA: Allunionsinstitut für Düngemittel und Agrarchemie der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften in Moskau

Nemtschinovka: Agrochemische Untersuchungsanstalt für das Gebiet Moskau in Nemtschinovka

MGU: Lomonossov-Universität Moskau (bodenphysikalische Untersuchungen)

Baribino: Agrochemisches Labor der Zentralen Versuchsstation des Allunionsinstitutes für Düngung der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften in Baribino.

Die Ursache für die Inanspruchnahme verschiedener Untersuchungseinrichtungen war organisatorischer Art.

2.4.2.1. Bodenchemische Parameter

a) pH:

Soweit in den Ergebnissen nicht anders angegeben, wurden pH-Wert-Messungen in 1 M KCl durchgeführt. Die Bestimmung erfolgte mittels einer Glaselektrode. Diese Methode ist der Standard für pH-Bestimmungen auf landwirtschaftlich genutzten Böden in der Russischen Föderation.

b) Pflanzenverfügbares Phosphor (Nach Tschirikov):

Die Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphors wird nach der russischen GOST - Norm (entspricht unseren DIN-Normen) auf grauen Waldböden und kalkfreien Tschernozemen mit der Methode nach Tschirikov durchgeführt. Dazu wurden die luftgetrockneten Proben mit 0,5 n Essigsäure bei einem Boden:Lösungs-Verhältnis von 1:25 extrahiert. Die Bestimmung des Phosphors erfolgte mit der Molybdänblau-Methode kolorimetrisch am Photometer (Minejev, 1989).

c) Pflanzenverfügbares Kalium (Nach Tschirikov):

Die Messung des austauschbaren Kaliums erfolgte mit dem gleichen Extrakt, mit dem auch die Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphors durchgeführt wurde, am Flammenphotometer (Minejev, 1989).

d) Austauschbare Kationen (nach Pfeffer-Molodtsov-Ignatova):

Die Extraktion der austauschbaren Kationen wurde mit 0,1 M NH_4Cl in einer 70 %-igen Ethanol-Lösung an karbonatfreien Bodenproben durch dreimaligen Überstau der Proben und anschließender Zentrifugierung durchgeführt. In Porzellan-Schalen wurde die gewonnene Lösung eingedampft und mit destilliertem Wasser in Meßkolben überführt. Ca^{2+} und Mg^{2+} -Ionen wurden kolorimetrisch, K^{+} - und Na^{+} -Ionen am Flammenphotometer bestimmt.

e) Basen-Neutralisations-Kapazität:

Unter der Basen-Neutralisations-Kapazität versteht man die Menge freier und gebundener H^{+} -Ionen in der Bodenlösung bzw. am Austauscher, die durch eine 1N Natriumacetat-Lösung (pH = 8,0 - 8,2) freigesetzt werden. Die Bestimmung erfolgt durch Titration mit 0,05 N NaOH mit Phenolphthalein als Indikator.

Der Wert hat eine große Bedeutung in der praktischen Landwirtschaft zur Berechnung des Kalkbedarfs landwirtschaftlicher Flächen. Als Faustregel wird zur Neutralisierung von 1 meq H^{+} /100g Boden 1,5 t/ha CaCO_3 gedüngt (Minejev, 1989).

Der Wert hat eine große Bedeutung in der praktischen Landwirtschaft zur Berechnung des Kalkbedarfs landwirtschaftlicher Flächen. Als Faustregel wird zur Neutralisierung von 1 meq H^+ /100g Boden 1,5 t/ha $CaCO_3$ gedüngt (Minejev, 1989).

f) N_{min} - Untersuchungen:

Die N_{min} -Untersuchungen wurden zu den verschiedenen Versuchsteilen und in den beiden Versuchsjahren in verschiedenen Labors nach verschiedenen Methoden durchgeführt.

- Die 1991 in beiden Versuchsteilen gezogenen Bodenproben wurden luftgetrocknet und im Winter im Allunionsinstitut für Düngemittel und Agrarchemie der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften in Moskau mit der Phenol-Blau-Methode (Minejev, 1989) auf NH_4 und nach Griss auf NO_3 untersucht.

- Zusätzlich wurden von den Flächen des Versuchsteiles A frische Bodenproben im Agrochemischen Untersuchungslabor der landwirtschaftlichen Versuchsanstalt Lgov auf ihren N_{min} -Gehalt untersucht.

- Die getrockneten Bodenproben des Versuchsteiles B des Jahres 1992 wurden im agrochemischen Labor der zentralen Versuchsstation des Allunionsinstitutes für Düngung und Agrochemie der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften in Baribino potentiometrisch auf den Gehalt an NO_3 untersucht. Die Proben wurden mit 1 %-iger Lösung von Aluminium-Kalium-Alaun im Verhältnis Boden: Lösung von 1:2,5 extrahiert. Die Bestimmung der Nitrat-Konzentration erfolgte mit einer ionenselektiven Nitrat-Elektrode.

g) Leicht mineralisierbarer Stickstoff (nach Tjurin und Kononova):

Der Teil des organisch gebundenen Stickstoffes (Aminosäuren und Amide), der leicht mineralisiert werden kann, sowie NH_4^+ -Ionen werden durch 0,5 N - H_2SO_4 (Boden:Lösung = 1:5, 3 min Schütteln, 16 Stunden stehenlassen) hydrolysiert und als NO_3 -Ionen in Lösung gebracht. Das Nitrat wird durch Zink- und Eisenstaub reduziert. Die quantitative Bestimmung des gebildeten Ammoniumsulfates erfolgt durch Titration im Kjeldahl-Kolben (Gorodnij et al., 1985) .

h) Pflanzenverfügbares Molybdän (nach Grigg):

Die Bestimmung des pflanzenverfügbaren Molybdän erfolgte nach einer Oxalatextraktion bei pH = 3,1-3,3 mit Hilfe eines Emmissionsspektrophotometers mit einer Nachweisgrenze von 0,02 mg/l. (Grigg, 1953).

i) Bestimmung des Humusgehaltes (nach Tjurin):

Nach der Oxidierung des Kohlenstoffes mit 0,4 N K_2CrO_4 -Lösung in verdünnter (1:1) H_2SO_4 erfolgte die Bestimmung des nicht verbrauchten Kaliumdichromates durch Titration (Minejev, 1989).

2.4.2.2. Bodenphysikalische Parameter

a) Korngrößenverteilung (nach Katschinskij):

Die Methode beruht auf dem Prinzip der unterschiedlichen Sedimentationsgeschwindigkeit verschiedener Korngrößenfraktionen. Die Dispergierung der Teilchen erfolgt mit 1n NaOH (Birecki et al., 1968).

b) Aggregatstabilität (nach Savvinov):

Aus der Bodenprobe, die im lufttrockenen Zustand durch Trockensiebung in die verschiedenen Fraktionen zerlegt worden ist, werden zur Bestimmung des wasserstabilen Krümelanteils zwei Durchschnittsproben an Aggregaten entnommen, die in ihrer prozentualen Zusammensetzung dem Resultat der vorangegangenen Trockensiebung entsprechen. Diese Probe wird in einen mit Wasser gefüllten Zylinder geschüttet. Nach 10 Minuten wird der Zylinder um 180 Grad gewendet und gewartet, bis sich die Hauptmasse der Aggregate abgesetzt hat. Dieses Umdrehen wird zehnmal wiederholt. Die stabilen Aggregate werden gesiebt und die einzelnen Fraktionen gewogen. Zur Auswertung werden die Fraktionen $> 0,5$ mm (bzw. > 1 mm) addiert (Birecki et al., 1968).

2.4.2.3. Pflanzenanalysen

Die Pflanzenproben des Versuchsjahres 1991 wurden in der Agrochemischen Untersuchungsanstalt für das Gebiet Moskau in Nemtschinovka, die Proben des Versuchsjahres 1992 im Agrochemischen Labor der Zentralen Versuchsstation des Allunionsinstitutes für Düngung der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften in Baribino untersucht.

Sowohl in Nemtschinovka als auch in Baribino erfolgte der Aufschluß der Proben durch die nasse Veraschung nach Ginsburg-Schilova. Dazu werden 0,5 g trockenes Pflanzenmaterial mit 10 ml konzentrierter H_2SO_4 und einigen Tropfen 60 %-iger $HClO_4$ versetzt und bis zur völligen Entfärbung erhitzt. In Baribino wurde der Gesamt-N-Gehalt nach Kjeldahl (Minejev, 1989), in Nemtschinovka nach GOST 13496.4-84 bestimmt. Das Prinzip der N-Bestimmung nach GOST 13496.4-84 ist die Bildung von NH_4 -Salzen und der anschließenden kolorimetrischen Bestimmung am Photometer.

Der P-Gehalt der Pflanzen wurde in Nemtschinovka kolorimetrisch nach GOST 26657-85 (Bildung von gelben Phosphor-Vanadium-Molybdat-Komplexen) bestimmt. Ebenfalls kolorimetrisch, nach Denisch (Minejev, 1989) wurden die P-Gehalte in Baribino bestimmt. Das Prinzip ist die Bildung blauer Phosphor-Molybdat-Komplexe unter der Einwirkung eines starken Reduktionsmittels bei der Zugabe von Ammoniummolybdat zur Extraktionslösung.

Die Kaliumbestimmung erfolgte in beiden Laboratorien am Flammenphotometer. In Nemtschinovka wurden darüberhinaus die Gesamtgehalte von Kalzium und Magnesium bestimmt.

2.5. Statistische Auswertung

Alle statistischen Auswertungen wurden mit Hilfe des Statistikprogrammes SPSS/PC+ erstellt.

Aus den Datensätzen von Versuchsteil A wurde eine Korrelationsmatrix erstellt. Durch Pearson-Korrelation und multiple Regressionsanalysen wurden signifikante Zusammenhänge der bestimmten Boden- und Pflanzenparameter untersucht. Unabhängig von der Stärke des Zusammenhanges wurden im Text nur Zusammenhänge als signifikant bewertet, die ein Signifikanzniveau von mindestens 5 % ($p < 0,05$) aufweisen. Zur Kennzeichnung der Signifikanzniveaus von 5 / 1 / 0,1 % wurden die Symbole * / ** / *** verwendet.

Bei der Auswertung des Versuchsteils B wurden mit Hilfe einer multiplen Varianzanalyse (ANOVA) die Einflüsse der Faktoren Impfung des Saatgutes mit einem Rhizobium-Präparat, Inkrustierung der Samen mit Kalk und Saatgutbehandlung mit Molybdän untersucht. Um die Einflüsse weiterer Faktoren, die auf standortbedingte Unterschiede zurückzuführen sind, erfassen zu können, wurden diese Faktoren als Kovariaten in die multiple Varianzanalyse aufgenommen. Bei der Auswertung von Versuchsteil B wurden dieselben Signifikanzniveaus wie bei der Auswertung von Versuchsteil A verwendet.

Zum Test auf signifikante Unterschiede von Mittelwerten von Gruppen bei der Variation einzelner Faktoren, wurde die einfache Varianzanalyse in Verbindung mit dem Scheffe-Test angewandt.

3. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

3.1. Standortcharakteristika im Untersuchungsgebiet

3.1.1. Leitprofil

Wie bereits im Methodenteil erwähnt handelt es sich bei den Böden im Untersuchungsgebiet um Tipitschnij Tschernozjem nach dem Bodenklassifikationssystem der UdSSR (Haplic Chernozems (FAO), Entic Haploborolls (US Soil Tax), Kalkhaltige Tschernozeme (DBG)).

Zur besseren Standortcharakterisierung wurde auf dem Versuchsfeld von Versuchsteil B ein Leitprofil angelegt. Diesem Leitprofil entspricht auch der Bodenaufbau der vier Felder aus Versuchsteil A.

Tabelle 6: Beschreibung des Leitprofils:

| Horizont | Tiefe | Beschreibung |
|----------|-----------|---|
| Ap | 0-28 cm | dunkelgrau bis schwarz, Krümelgefüge, viele Feinwurzeln, Wurmgänge, mittlere Dichte. |
| Ah1 | 28-48 cm | bräunlich - dunkelgrau, Krümel-Subpolyeder, braune Krotowinen, mittlere Durchwurzelung. |
| Ah2 | 48-82 cm | bräunlich - dunkelgrau, freie Karbonate, Krümel-Subpolyeder, braune und schwarze Krotowinen, geringe Durchwurzelung. |
| Ah3 | 82-105 cm | Dunkelbraun, dunkle und braune Krotowinen, Ausfällungen von Karbonaten als Pseudomycele, Krümel-Subpolyeder, lassen sich leicht zu Pulver zerdrücken. |
| Cv | 105 cm + | beige, Einzelkorngefüge, Karbonate als Pseudomycelien und kleine weiße Flecken. |

Tab 7a: Bodenchemische Parameter des Leitprofils:
Gesamtstickstoff- und Humusgehalt, pH und Belegung des Sorptionskomplexes

| Horizont | Ntot (%) | pH (KCl) | Humus (%) | austauschbare Kationen | | | | |
|----------|-------------|-------------|--------------|------------------------|------|------|------|-------|
| | | | | H | Mg | Na | K | Ca |
| | | | | meq/ 100 g Boden | | | | |
| AP | 0,27 | 5,72 | 7,62 | 2,13 | 2,15 | 0,15 | 0,18 | 15,97 |
| Ah1 | 0,24 | 7,30 | 6,41 | 0,38 | 1,55 | 0,15 | 0,18 | 17,62 |
| Ah2 | 0,17 | 7,50 | 5,02 | 0,22 | 1,48 | 0,15 | 0,18 | 15,82 |
| Ah3 | 0,12 | 7,65 | 3,30 | 0,22 | 1,97 | 0,15 | 0,18 | 14,34 |
| Cv | 0,10 | 7,60 | 1,23 | 0,16 | 2,45 | 0,15 | 0,18 | 13,95 |

Tab 7b: Bodenchemische Parameter des Leitprofils:**Sesquioxide und Silikat (Gesamtgehalte),**

im Vergleich zu typischen Werten für `TIPITSCHNIJ TSCHERNOZJEMS` (nach Afanasjeva, 1966)

| Horizont bzw. Tiefe | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ (%) | MnO |
|--------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------|------|
| AP | 78,2 | 11,7 | 3,5 | 0,78 | 0,08 |
| Ah1 | 77,8 | 11,4 | 3,5 | 0,77 | 0,08 |
| Ah2 | 76,8 | 11,8 | 3,4 | 0,75 | 0,08 |
| Ah3 | 76,9 | 11,5 | 3,2 | 0,73 | 0,08 |
| Cv | 76,6 | 12,0 | 3,3 | 0,73 | 0,08 |
| Typische Werte nach Afanasjeva | | | | | |
| 0-10 cm | 79 | 10,7 | 4,3 | 0,37 | 0,01 |
| 60-70 cm | 79 | 10,8 | 4,2 | 0,77 | 0,09 |

Tab 7c: Bodenchemische Parameter des Leitprofils:**Pflanzennährstoffe (Gesamtgehalte)**

im Vergleich zu typischen Werten für `TIPITSCHNIJ TSCHERNOZJEMS` (nach Afanasjeva, 1966)

| Horizont bzw. Tiefe | CaO | MgO | SO ₃ | P ₂ O ₅ (%) | K ₂ O | Na ₂ O |
|--------------------------------|------|------|-----------------|--------------------------------------|------------------|-------------------|
| Ap | 1,63 | 0,96 | 0,09 | 0,16 | 2,43 | 0,43 |
| Ah1 | 2,28 | 1,14 | 0,08 | 0,17 | 2,46 | 0,38 |
| Ah2 | 2,77 | 1,20 | 0,08 | 0,21 | 2,58 | 0,34 |
| Ah3 | 2,75 | 1,57 | 0,07 | 0,20 | 2,61 | 0,31 |
| Cv | 2,69 | 1,44 | 0,07 | 0,19 | 2,63 | 0,25 |
| Typische Werte nach Afanasjeva | | | | | | |
| 0-10cm | 0,74 | 1,00 | 0,49 | 0,37 | 2,29 | 0,81 |
| 60-70cm | 0,53 | 1,06 | 0,64 | 0,31 | 1,96 | 1,02 |

Tabelle 8: **Textur des Feinbodens**

| Prozentualer Anteil an den Korngrößenklassen nach Katschinskij (Birecki et al., 1968) | | | | | | |
|---|------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| Horizont | Korngrößenklasse | | | | | |
| | I | II | III | IV | V | VI |
| Ap | 0,45 | 3,55 | 45,74 | 11,94 | 10,30 | 28,02 |
| Ah1 | 0,30 | 3,41 | 48,55 | 10,20 | 10,61 | 26,93 |
| Ah2 | 0,39 | 2,10 | 50,18 | 10,20 | 13,06 | 24,07 |
| Ah3 | 0,48 | 4,46 | 49,36 | 8,16 | 9,80 | 27,74 |
| Cv | 0,42 | 3,29 | 48,55 | 9,80 | 11,42 | 26,52 |

| | | |
|--------------------|-------|----------------|
| Klasseneinteilung: | I = | 1,00-0,25 mm |
| | II = | 0,25-0,05 mm |
| | III = | 0,05-0,01 mm |
| | IV = | 0,01-0,005 mm |
| | V = | 0,005-0,001 mm |
| | VI = | <0,001 mm |

Damit ergibt sich für alle Horizonte nach DBG als Textur schluffig-toniger Lehm (bzw. stark schluffiger Ton). Nach der in der Russischen Föderation üblichen Bodenklassifikation aufgrund der Korngrößen-Zusammensetzung nach Katschinskij (Birecki et al., 1968) ist die Textur aller Horizonte als schwerer Lehm zu bezeichnen.

Mit einem Humusgehalt von 7,62 % in der Pflugschicht liegt der Boden auf dem Versuchsfeld im Rahmen der in der Literatur angegebenen Werte für Typische Schwarzerden der zentralrussischen Waldsteppe (Aderichin, 1964; Schevtschenko, 1991). Dabei liegen die Böden im westlichen Teil der zentralen Schwarzerdezone, zu dem das Verwaltungsgebiet gehört, generell niedriger als im östlichen Teil (Verwaltungsgebiet Voronesch). Für landwirtschaftlich ungenutzte Böden aus dem Nationalpark "Streletskaja stepj", unweit des Untersuchungsgebietes, nennt Afanasjeva (1966) Humusgehalte von 8-12 %. Gegenüber dem Leitprofil des Versuchsfeldes von Versuchsteil B liegen die Humusgehalte der Probeflächen aus Versuchsteil A mit C_{Org} -Gehalten von 2,5 - 3 % jedoch etwas niedriger.

Deutlich niedriger als für landwirtschaftlich genutzte und ungenutzte Böden beschrieben, liegen mit Werten zwischen 0,27 und 0,10 % die Gehalte an Gesamt-N in allen Horizonten des Leitprofils. Afanasjeva (1966) gibt für die "Streletskaja stepj" Werte von 0,5 % (0-10cm Bodentiefe) und 0,3% (30-40cm) an. Aderichin (1964) nennt für eine Reihe von landwirtschaftlich genutzten und ungenutzten Böden Werte von 0,3 - 0,6 % N_{Org} . Dabei liegen die Werte unter den gleichen Rahmenbedingungen für Ackerland um etwa 0,1 %

unter den entsprechenden Werten für unbearbeitete Böden. Nach Jagodin et al. (1989) liegen die Gesamtgehalte für N bei 0,40 - 0,50 % in landwirtschaftlichen Tschernozjemen.

3.1.2. Bodenphysikalische Eigenschaften der untersuchten Böden

3.1.2.1. Lagerungsdichte

Die Untersuchung der Böden in beiden Versuchsteilen auf Lagerungsdichte ergab Werte von 1,17 bis 1,45 g/cm³ mit einem Mittelwert von 1,29 g/cm³ sowohl für Versuchsteil A, als auch für Versuchsteil B in der Schicht 0-10 cm. Damit liegen die Werte für alle Felder sehr viel höher als von Afanasjeva (1966) für Tipitschnije Tschernozjeme unter natürlicher Vegetation (0,97 g/cm³ 0-10cm; 1,16 g/cm³ 10-20 cm), und von Saposchnikov (1990) (0,85 g/cm³ für 0-10 cm und 1,07 g/cm³ für 10-20 cm), Bondarev (1989) (1,0-1,2 g/cm³, 0-20 cm) und Uskov et al.(1991) (1,04-1,18 g/cm³) für landwirtschaftlich genutzte Tipitschnije Tschernozjeme beschrieben.

3.1.2.2. Aggregatstabilität

Auf einen sehr schlechten Zustand der Bodenstruktur weisen die Ergebnisse der Bestimmung der Aggregatstabilität in den untersuchten Böden hin. In den Böden von Versuchsteil A lag der Anteil der wasserstabilen Aggregate > 0,25, > 0,5 mm und > 1mm bei durchschnittlich 17,2, 8,5 und 3 %. In den Böden aus Versuchsteil B lagen die entsprechenden Werte zum Probenahmetermin im Herbst bei 14,7 % (> 0,5mm).

Bondarev (1989) nennt einen Anteil von 60 % wasserstabiler Aggregate > 0,25 mm für Schwarzerden als optimal für eine landwirtschaftliche Nutzung. Ähnliche Werte nennen auch Kovaljev und Logoschin (1991), die den Anteil wasserstabiler Aggregate mit 50% (>0,5mm) bzw. 30 % (> 1mm) angegeben. Uskov et al. (1991) nennen sogar einen mittleren Wert von 78 % wasserstabiler Aggregate als typisch für Tipitschnije Tschernozjeme. Die sehr schlechten Struktureigenschaften der Böden waren auch visuell durch typische knickförmige Deformationen der Luzernewurzeln in 15 cm Tiefe festzustellen, die auf eine starke Bodenverdichtung in diesem Bereich hindeuten (siehe Foto 3).



Foto 3: Typischer Knick einer Luzernewurzel im Bereich der Pflugsohle infolge von Bodenverdichtung

Obwohl Schwarzerden in der Regel über sehr günstige bodenphysikalische Eigenschaften für eine ackerbauliche Nutzung verfügen, hat eine intensive landwirtschaftliche Nutzung in weiten Teilen der Russischen Föderation zu Schäden an der Bodenstruktur geführt (Aderichin, 1964; Bondarev, 1991). Die hier gemessenen bodenphysikalischen Kennwerte zeigen, daß dies auch für die Versuchsböden zutrifft.

3.1.3. Bodenchemische Parameter der untersuchten Flächen

3.1.3.1. Chemische Zusammensetzung des Bodenmaterials

Tabelle 7 zeigt die chemische Zusammensetzung des Bodens im Leitprofil. Darunter sind typische Werte für Tipitschnije Tschernozjeme unter natürlicher Vegetation angegeben (Afanasjeva, 1966). Auffallend sind die niedrigen Gehalte an SO_3 und P_2O_5 im Boden des Leitprofils im Vergleich zu den Angaben von Afanasjeva. Dies läßt sich jedoch durch den Nährstoffentzug mit den Ernteprodukten auf den landwirtschaftlich genutzten Böden erklären.

3.1.3.2. pH-Werte

Soweit nicht anders angegeben, wurden alle pH-Werte, wie allgemein in der Russischen Föderation üblich, in 1M-KCl-Lösung bestimmt.

Einen Überblick über die Mittelwerte der gemessenen pH-Werte im Versuchsteil A sowie für die drei Probenahmetermine Herbst 91, Mai 92, Juli 92 im Versuchsteil B gibt Abbildung 2 (pH-Werte der Böden). Die Standardabweichung lag bei jeweils $\pm 0,4$ (bzw. $\pm 0,2$ für Juli 92).

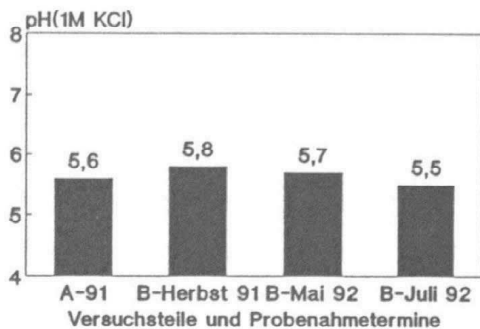


Abbildung 2:

pH-Werte der untersuchten Böden

Ein Methodenvergleich zwischen der pH-Wert-Bestimmung in 1M-KCl und 0,01 M-CaCl₂ für die im Versuchsteil B zum Probenahmetermin im Juli gemessenen 72 pH-Werte ergab mit $r=0,94$ folgenden linearen Zusammenhang:

$$\text{pH}(\text{CaCl}_2) = 0,997 \times \text{pH}(\text{KCl}) + 0,74$$

Damit liegen die pH(CaCl₂)-Werte der untersuchten Oberböden um ca. 0,7 pH-Einheiten über den gemessenen pH(KCl)-Werten und damit bis auf wenige Ausnahmen im lediglich schwach sauren Bereich.

Der pH-Wert in der Pflugschicht lag im Leitprofil mit 5,7 deutlich niedriger als von Afanasjeva (1966) für Typische Schwarzerden unter natürlicher Vegetation angegeben. Diese Versauerung des Ausgangsmaterials ist auf die landwirtschaftliche Nutzung zurückzuführen. Besonders der Einsatz physikalisch sauer wirkender Ammoniumdünger, wie im Untersuchungsgebiet üblich, kann zu starken pH-Absenkungen mit negativen Wirkungen auf das Pflanzenwachstum führen (Allmaras et al., 1978; Mahler, 1981).

Der Vergleich der in 1M-KCl und 0,01-M CaCl₂ bestimmten pH-Werte läßt die Versauerung des untersuchten Oberbodens jedoch weit weniger dramatisch erscheinen, als es die in 1M KCl gemessenen Werte vermuten lassen. Bei dem in CaCl₂ ermittelten pH-Bereich dürfte für Luzerne keine pH-bedingte Beeinträchtigung des Wachstums auftreten.

3.1.3.3. Nährstoffe:

a) Austauschbare Kationen

Tabelle 7 zeigt die Werte der austauschbaren Kationen sowie der effektiven KAK für das Leitprofil. Mit einer effektiven KAK von 20,6 meq/100g im Oberboden liegt der Wert etwas unter dem Wert, der von Scheffer (1989) für eine Schwarzerde mit pH 7,2 bei Hildesheim angegeben wird. Er liegt jedoch deutlich unter den in den russischen Standardwerken als typisch für die Oberböden von Tipitschnije Tschernozjemen

angegebenen Werte von 40-50 meq (Kovdy und Rozanova, 1988) bzw. 65 meq (Jagodin et al., 1989) pro 100g Boden.

Der überwiegende Teil der Austauscherplätze ist mit Ca (über 80 %), ein geringerer Teil (ca. 10 %) mit Mg belegt. Diese Belegung entspricht, ebenso wie die prozentual niedrige Belegung der Austauscherplätze mit Natrium und Kalium, den Erwartungen. Durch die niedrige KAK liegen die Absolutwerte für austauschbares Kalzium und Magnesium mit 16 bzw. 2,2 meq/ 100g Boden im Oberboden deutlich niedriger, als in der Literatur für die Typischen Schwarzerden der zentralrussischen Schwarzerdezone angegeben. Aderichin (1964), Afanasjeva (1966) und Jagodin et al. (1989) nennen Werte von 40-60 meq $\text{Ca}^{2+}/100\text{ g}$ und 3-10 meq $\text{Mg}^{2+}/100\text{ g}$ als typische Werte für landwirtschaftlich genutzte und ungenutzte Oberböden.

Die relativ niedrigere Belegung mit Kalzium in der Pflugschicht des Versuchsfeldes läßt sich durch die langjährige intensive landwirtschaftliche Nutzung der Flächen, insbesondere einer langjährigen Düngung mit physiologisch sauer wirkendem Ammoniumsulfat, erklären (Jagodin et al., 1989).

Im Versuchsteil A ergaben sich durchschnittliche Gehalte an austauschbaren Ca^{2+} - und Mg^{2+} -Ionen von 17,4 meq bzw. 3,0 meq mit einer Standardabweichung von 1,8 bzw. 0,4 meq. Damit liegen die Werte etwas höher als im Leitprofil. Die gemessenen Mittelwerte entsprechen Gehalten von 348 mg Ca/ 100g Boden bzw. 36 mg Mg/ 100g Boden.

Die in der Bundesrepublik Deutschland zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Magnesiums verwendete CaCl_2 -Methode liefert Werte, die 50-90 % des gesamten austauschbaren Magnesiums ausmachen. Die Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau bezeichnet für tonige Lehm Böden einen Gehalt von 8-14 mg Mg/ 100g Boden als mittlere Gehaltsstufe. Damit dürfte die ausreichende Magnesium-Versorgung der Pflanzen gesichert sein. Eine nicht ausreichende Magnesium-Versorgung kann durch hohe K-Gehalte im Boden verursacht sein. Da die K-Gehalte jedoch eher im Mangelbereich liegen, ist eine dahingehende negative Beeinflussung der Mg-Versorgung nicht zu erwarten (Anonymus, 1988).

b) Stickstoff

N_{tot} :

Wie bereits erwähnt, liegt der Gehalt an Gesamt-N im Leitprofil mit 0,27 % im Oberboden für einen Tipitschnij Tschernozjem sehr niedrig. Durch den verglichen mit dem Leitprofil niedrigeren Humusgehalt im Versuchsteil A dürfte hier auch der N-Gehalt noch niedriger liegen.

Pflanzenverfügbare Stickstoff:

Im Versuchsteil A lagen die Gehalte an NH_4 und NO_3 bei sehr großen Standardabweichungen bei durchschnittlich 1,9 und 5,1 mg NO_3 bzw. mg NH_4 / kg Boden. Diese Werte liegen leicht unter den Werten, die für die zentralrussische Schwarzerdezone bei Humusgehalten von 4,5 bis 5,5 % nach Schtscherbakov et al. (1990) zu erwarten sind. Die im Versuchsteil A an den getrockneten Proben bestimmten N_{\min} -Gehalte sind jedoch aus der Sicht der Probennahme als auch der Analyse im Labor unter Vorbehalt zu betrachten.

Die N_{\min} -Werte, die an den frischen Proben aus Versuchsteil A im Labor in Lgov bestimmt wurden, können wegen Schwierigkeiten bei der Eichung der Methode nur als Relativwerte zueinander gesehen werden und geben keinen Aufschluß über den absoluten N_{\min} -Gehalt.

Das Stickstoffnachlieferungsvermögen des Bodens wurde bei den im Mai und Juli 1992 genommenen Proben aus Versuchsteil B mit der Bestimmung des leicht hydrolisierbaren Stickstoffes untersucht. Die Werte liegen relativ einheitlich für das Versuchsfeld bei 8,1 mg N/ kg Boden im Mai und bei 7,9 mg N/ kg Boden im Juli. In den Anbaurechtlinien wird eine Gehaltsstufe von 4,5 -6,0 mg leicht mineralisierbarer Stickstoff (nach Tjuren und Kononova) als mittlere N-Nachlieferungsfähigkeit der Böden genannt (Gorodnij et al., 1985).

Die N_{\min} -Gehalte der Böden (Versuchsteil B, 1992), bestimmt als Nitrat-N, lagen dagegen mit durchschnittlich 0,6 mg $\text{NO}_3\text{-N/kg}$ Boden im Mai und 1,0 mg $\text{NO}_3\text{-N/kg}$ Boden im Juli sehr niedrig. Dies deutet darauf hin, daß mineralisierte Stickstoffmengen weitgehend von der Luzerne genutzt werden. Der im Vergleich zum Mai höhere N_{\min} -Wert im Juli läßt sich durch die lang anhaltende Trockenheit, dem damit verbundenen verminderten Pflanzenwachstum und der geringeren N-Aufnahme erklären.

c) Pflanzenverfügbares P_2O_5 und K_2O

Phosphor

Das pflanzenverfügbare Phosphor wurde ebenso wie das pflanzenverfügbare Kalium nach Tschirikov (Minejev, 1989) bestimmt. Die Methode nach Tschirikov entspricht für kalkfreie Tschernoseme der russischen GOST-Norm, die unseren DIN-Normen entspricht. Sie wird in letzter Zeit jedoch kritisiert, da mit ihr anscheinend ein überproportional großer Anteil an für Pflanzen schwer verfügbaren Ca-Phosphaten gelöst wird (Berchin et al., 1987).

Die nach Tschirikov bestimmten P_2O_5 -Werte korrelieren in etwa mit den Werten der AL-Methode. Suchareva et al. (1987) geben einen Zusammenhang ($r=0,704$) von $y(\text{AL}) = -1,27 + 0,81 \times (\text{Tschirikov})$ (x, y in mg $\text{P}_2\text{O}_5/ 100$ g Boden) an. Bei der Untersuchung von 138 karbonatfreien Schwarzerden fanden Suchareva et al. einen durchschnittlichen P_2O_5 -

Gehalt von 13,2 mg/ 100 g Boden bei der Bestimmung nach Tschirikov, bzw. von 9,42 bei der Bestimmung nach der AL-Methode.

Chaifets (1964) stellte eine gute Korrelation zwischen der AL-Methode und der Methode nach Tschirikov in den Oberböden landwirtschaftlich genutzter Schwarzerden (0-20 cm) fest. Die nach Tschirikov erhaltenen Werte liegen um den Faktor 1,6 bis 2,2 höher als die entsprechenden AL-Werte. Für die Horizonte tiefer 30 cm ergab die Methode nach Tschirikov allerdings keine brauchbaren Ergebnisse.

Die AL-Methode wiederum korreliert mit der in der Bundesrepublik Deutschland zur P- und K- Bestimmung in landwirtschaftlichen Böden üblichen CAL-Methode. Die Werte der AL-Methode liegen nach Scheffer (1989) jedoch um etwa 65 % höher als bei der CAL-Methode. Bei einem Vergleich der P_2O_5 (Tschirikov) - Werte mit Angaben über P_2O_5 (CAL) muß daher mit um den Faktor 2-3 niedrigeren Werten gerechnet werden.

Abbildung 3 zeigt die mittleren P-Gehalte, die für die Böden der Probeflächen aus Versuchsteil A sowie für die verschiedenen Probetermine im Versuchsteil B gemessen wurden. Die Werte streuten dabei mit Standardabweichungen von 4,7; 5,6; 1,4 und 2,2 mg P_2O_5 / 100g Boden für die einzelnen Versuchsteile und Probenahmetermine.

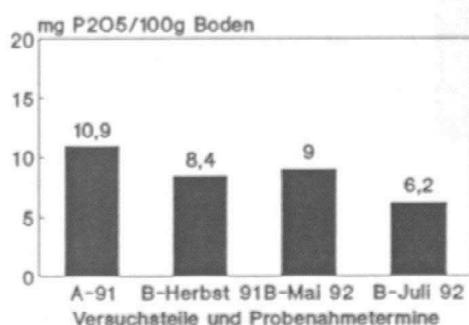


Abbildung 3:

P-Versorgung der untersuchten Böden

Mit den gezeigten Mittelwerten liegen die Gehalte für beide Versuchsteile niedriger als der von Suchareva et al. (1987a) für landwirtschaftlich genutzte Böden angegebene durchschnittliche Wert von 13,2 mg P_2O_5 / 100 g Boden und für Versuchsteil B auch unter dem von Afanasjeva (1966) für Schwarzerden unter natürlicher Vegetation angegebenen Wert von 10 mg/ 100 g Boden. Minejev (1989) nennt 5-10 / 10-15/ 15-20 mg P_2O_5 / 100 g Boden als mittlere Versorgungsstufe für Getreide / Rüben / Gemüse.

Deutlich höher liegen jedoch die Phosphor-Düngungsempfehlungen in der Bundesrepublik Deutschland. Ein Wert von 10 mg P_2O_5 / 100 g Boden (nach Tschirikov) entspräche nach den oben angeführten Methodenvergleichen einem Wert von 3-5 mg P_2O_5 (CAL)/ 100 g Boden. Die Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau in Freising zählt Böden mit einem P_2O_5 -Gehalt (CAL) bis 8 mg P_2O_5 / 100 g Boden noch zur Versorgungsstufe A (=niedrig). Die P-Düngungsempfehlungen in der landwirtschaftlichen Praxis in

Deutschland werden jedoch als zu überhöht kritisiert (Scheffer, 1989; Goldbach, 1993; Rippel, 1993).

Abbildung 3 macht auch deutlich, daß die P-Versorgung des Bodens auf dem Versuchsfeld im Versuchsteil B stark mit dem Probennahmentermin variiert. Die Abnahme der durchschnittlichen P-Gehalte im Juli gegenüber dem Mai ist jedoch hauptsächlich mit der Inhomogenität der P-Versorgung auf dem Versuchsfeld zu erklären.

Abbildung 4 zeigt die durchschnittlichen P_2O_5 -Gehalte der drei Wiederholungen im Mai sowie der sechs Wiederholungen im Juli. Für die einzelnen Wiederholungen liegen die Standardabweichungen deutlich niedriger als bei den Mittelwerten, die für das ganze Feld berechnet wurden. Für Mai betrugen die Standardabweichungen für die Wiederholungen 1-3 1,0; 1,8 und 1,4, für die sechs Wiederholungen im Juli 2,4; 1,6; 1,0; 0,6; 0,6 und 1,1 mg P_2O_5 / 100 g Boden.

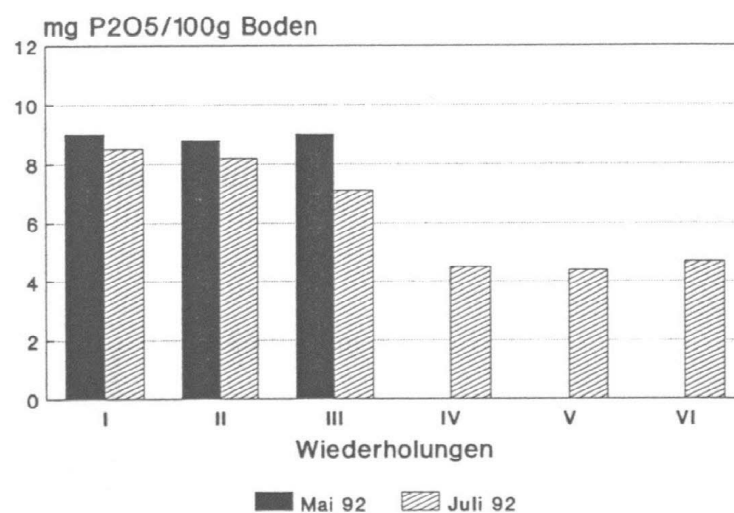


Abbildung 4: Heterogenität des Versuchsfeldes bezüglich der P_2O_5 -Versorgung

Es wird deutlich, daß die Wiederholungen 4-6 deutlich schlechter versorgt sind als die Wiederholungen 1-3. Da im Mai aus organisatorischen Gründen nur die Wiederholungen 1-3 beprobt werden konnten, lagen die durchschnittlichen Werte höher als im Juli. Der leicht niedrigere P-Gehalt im Juli gegenüber Mai in den Wiederholungen 1-3 läßt sich mit dem Entzug durch die Pflanzen erklären.

Die Unterschiede zwischen den Wiederholungen 1-3 und den Wiederholungen 4-6 sind wahrscheinlich weniger auf pedogene, als vielmehr auf ackerbauliche Gründe zurückzuführen. In der Praxis der russischen Landwirtschaft ist es aus Dünger- oder Zeitmangel durchaus üblich, große Felder nur teilweise zu düngen. Eine derartige Maßnahme im Vorjahr könnte zu der vorliegenden ungleichen P-Versorgung geführt haben.

Die gezeigte Tatsache bestätigt die Behauptung, daß die Heterogenität des Versuchsfeldes weit stärker längs zur Anlage des Versuches, d.h. quer zur Hauptbearbeitungsrichtung,

ausgeprägt ist, als quer zur Versuchsanlage. Der Verzicht auf die vollständig randomisierte Anlage des Versuches bedeutet daher nicht, daß die Behandlungsunterschiede durch standörtliche Heterogenität vorgetäuscht werden.

Pflanzenverfügbares und austauschbares Kalium:

Nach der GOST-Norm wird in landwirtschaftlich genutzten Böden in Rußland zur Beurteilung der K-Versorgung der Böden das austauschbare Kaliumanteil nach Tschirikov bestimmt. Dabei wird das gleiche Extraktionsmittel wie zur P-Bestimmung verwendet. Da jedoch auch ein Teil des nicht austauschbaren Kaliums für die Pflanzen verfügbar ist, liegen die gemessenen Werte unter den tatsächlich für die Pflanzen verfügbaren Gehalten an Kalium im Boden (Scheffer, 1989). Im folgenden wird unter dem Begriff des pflanzenverfügbaren Kaliums die Menge des austauschbaren Kaliums nach Tschirikov verstanden.

Die durchschnittlichen Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium für beide Versuchsteile zeigt Abbildung 5. Die Werte streuten dabei mit Standardabweichungen von 2,6; 1,0; 1,1 und 0,8 mg K₂O/ 100g Boden für die einzelnen Versuchsteile und Probenahmetermine.

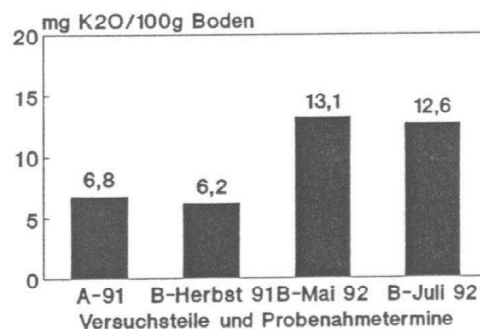


Abbildung 5:

K-Versorgung der untersuchten Böden

Mit durchschnittlich 6,8 mg K₂O/100g Boden lagen die Werte für Versuchsteil A deutlich unter den von Suchareva et al. (1978b) bei der Auswertung von 55 karbonatfreien Schwarzerdeböden gefundenen mittleren Gehalt von 15,14 mg K₂O/100g Boden bei Extraktion nach Tschirikov, bzw. dem Wert von 20 mg K₂O, den Afanasjeva (1966) für die Oberböden von Schwarzerden unter natürlicher Vegetation nennt. Lediglich auf zwei Probeflächen, auf denen besondere bodenchemische Verhältnisse herrschten, lagen die Werte bei 11,7 bzw 16,1 mg K₂O/100g Boden. Nachfragen ergaben, daß auf diesen Flächen in früheren Jahren Heu gelagert worden war.

Die Werte auf dem Versuchsfeld für Versuchsteil B lagen relativ einheitlich bei durchschnittlich 13,1 und 12,6 mg K₂O/ 100 g Boden für die Probennahmetermine Mai und Juli 1992, während die entsprechenden Werte für den Probennahmetermin im Herbst 1991 mit durchschnittlich 6,2 mg K₂O/ 100 g Boden sehr viel geringer war. Diese Tatsache läßt sich unter Umständen mit dem hohen K-Entzug der Getreidedeckfrucht im Ansaatzjahr der

Luzerne, der hohen K-Fixierung der Schwarzerden und einer hohen Nachlieferung im Frühjahr 1992 erklären.

Bei einem Vergleich der Methode nach Tschirikov mit der AL-Methode fanden Suchareva et al. (1978b) für die oben erwähnten Böden nach Extraktion mit der AL-Methode einen durchschnittlichen Gehalt von 32,19 mg K₂O/100 g Boden. Mit $r=0.774$ ergibt sich folgender Zusammenhang zwischen K₂O(Tschirikov)- und K₂O(AL)-Werten:

$$y \text{ (AL)} = 7,28 + 1,65 \times \text{(Tschirikov)}.$$

Beim Vergleich zwischen der AL- und der CAL-Methode nennt Scheffer (1989) durchschnittlich 50 % höhere Werte für die AL-Methode. Beim Vergleich der nach Tschirikov bestimmten Werten mit Angaben von CAL-Werten kann man daher davon ausgehen, daß die Tschirikov-Werte um etwa 20-30 % niedriger liegen, als die CAL-Werte.

In Süddeutschland wird bei Tongehalten, wie sie in den Böden des Untersuchungsgebietes vorherrschen, bei einem K₂O-Gehalt von < 20 mg K₂O(CAL) eine über den Entzug hinausgehende Düngung empfohlen (Anonymus 1988). Somit darf die Kaliumversorgung der Böden im Untersuchungsgebiet als niedrig bzw. sehr niedrig für die Probennahmetermine Mai/ Juli 1992 bzw. Sommer/ Herbst 1991 angenommen werden.

d) Ca- und Mg-Versorgung der Böden

Durch die hohe Ca- und Mg-Belegung der Austauschplätze in allen Horizonten sind die Böden ausreichend mit Ca und Mg versorgt (siehe Kap. 3.1.3.3.a).

e) Mikronährstoffe

Während die Typischen Schwarzerden der zentralrussischen Schwarzerdezone in der Regel sehr gut mit Bor versorgt sind, wird der für Mo-anspruchsvolle Pflanzen wie Luzerne für eine gute Versorgung geforderte Wert von 0,5 mg pflanzenverfügbaren Mo/ kg Boden auf den Böden des Untersuchungsgebietes in der Regel nicht erreicht. Die durchschnittlichen Gehalte für pflanzenverfügbares Molybdän liegen in Typischen Schwarzerden bei 0,3 g/kg (Syrin, 1981).

Dagegen betrugen die auf dem Versuchsfeld zu den Probenahmeterminen Mai und Juli 1992 tatsächlich gemessenen Werte durchschnittlich 0,50 bzw. 0,57 mg/kg. Der niedrigste gemessene Wert lag dabei bei 0,14 mg Mo/ kg Boden im Mai und bei 0,40 mg Mo/ kg Boden im Juli. Da Werte unter 0,40 jedoch auch im Mai nur sehr vereinzelt auftraten (10% der Probenpunkte), dürften die untersuchten Böden als ausreichend mit Molybdän versorgt gelten.

3.2. Pflanzenbestände im Versuchsteil A

3.2.1. Visuelle Beschreibung der Teilstücke im Versuchsteil A

3.2.1.2. Bestandesdichte

Die Bestandesdichte war in den einzelnen Teilstücken extrem unterschiedlich. Auf den Feldern 1, 5, 7 waren, teilweise nahe beieinander, sehr lückige bis sehr dichte Bestände. Lediglich Feld 6 zeichnete sich durch einen einheitlichen dichten Luzernebestand aus. Dieses Ergebnis spiegelt sich deutlich in den Trockenmassenerträgen der einzelnen Teilstücke wieder.

3.2.1.3. Beikräuter

Auf den Beständen im zweiten Nutzungsjahr (Felder 1 und 7) war Quecke (*Agropyron repens*) das dominierende Beikraut. Daneben waren in größeren Mengen Löwenzahn (*Taraxacum officinalis*) und Rotklee (*Trifolium pratense*) vorhanden. Auf einigen Teilstücken war die Quecke so dominierend, daß nur einzelne Luzernepflanzen im Bestand vorhanden waren.

Die Bestände im ersten Nutzungsjahr (Felder 5 und 6) waren weitgehend frei von Quecken. Auf Feld 5 wurden einige Teilstücke dominiert von Hirtentäschelkraut (*Capsella bursa-pastoris*), Acker-Hellerkraut (*Thlaspi arvense*), Finkensame (*Neslia paniculata*) und Ackerstiefmütterchen (*Viola arvense*). Daneben traten Ölräuke (*Eruca vesicaria*), weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*) und Ackerkratzdiestel (*Cirsium arvense*) mit größeren Deckungsgraden auf. Auf Feld 6 machte die Luzerne durchgehend mindestens 75 % des Bestandes aus. Daneben waren Rotklee und Roggen in größeren Mengen vorhanden.

3.2.1.4. Vitalität, Krankheiten, Schädlinge

Im allgemeinen war die Wüchsigkeit infolge der feucht-warmen Witterung recht gut. Allerdings zeigten nahezu alle Bestände zum Erntetermin, Ende Knospenbildung/ Anfang Blüte, mehr oder weniger starken Krankheitsbefall. Ohne ein erkennbares Defizit an verfügbarem Bodenwasser wurden auf vielen Teilstücken Welkeerscheinungen an den Blättern festgestellt.

Am stärksten verbreitet war der Befall durch Klappenschorf (*Pseudospezzia medicaginis*). Daneben konnte ein Befall mit *Verticillium albo-atrum* (Luzernenwelke) festgestellt werden. Auf Feld 7 war der Bestand in weiten Teilen durch *Rhizoctonia crocorum* (Wurzeltötter) geschädigt. Die Bestimmung der Krankheiten erfolgte visuell im Feld. Die Ergebnisse müssen daher unter Vorbehalt gesehen werden.

Neben einem Befall mit Pilzkrankheiten zeigten sich auf den meisten Teilstücken ausgeprägte Kali-Mangelsymptome. Dies waren gelbe bis weiße strichelförmige Aufhellungen parallel zu den Blattadern (Bergmann, 1986). Von Insekten wurde die

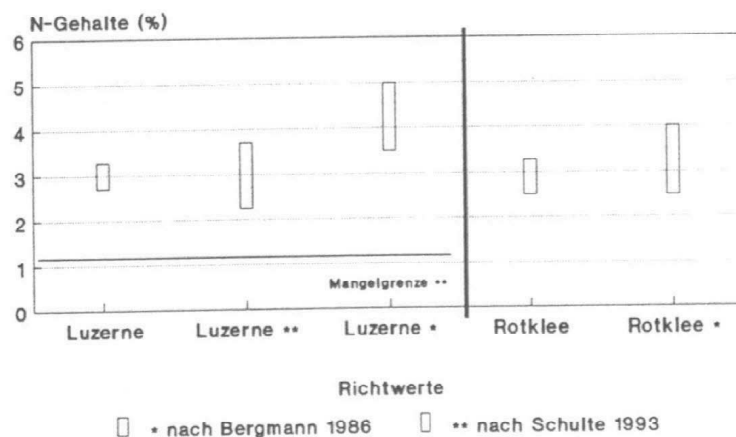
Luzerne durch die Erbsenblattlaus (*Acyrtosiphon pisum*), durch den Luzernerüssler (*Brachyrhinus ligustici*), den Schattenwickler (*Cnephasia alticolana*) sowie den Blattrandkäfer (*Sitona lineatus*) geschädigt. Einige Schäden im Wurzelhalsbereich wurden als Frostschäden gedeutet.

Eine ausführliche visuelle Beschreibung aller Teilstücke befindet sich im Anhang xx.

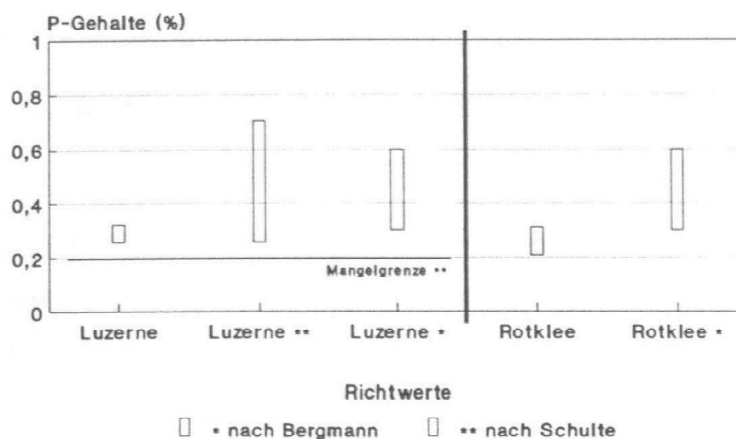
3.2.2. Nährelementgehalte der Pflanzen im Versuchsteil A

Die Mineralstoffgehalte von Gräsern, Rotklee und Luzerne aus Versuchsteil A sind in Abbildung 6 (a-e) dargestellt. Die Balken geben den Mittelwert \pm Standardabweichungen für die einzelnen Probestellen an. Daneben sind die Richtwerte für eine ausreichende Versorgung für Luzerne nach Bergmann (1986) und Schulte (1993) und für Klee nach Bergmann (1986) dargestellt. Die Darstellung umfaßt die Werte unabhängig vom Nutzungsjahr, da kein Unterschied zwischen den Pflanzen im 1. bzw. 2. Hauptnutzungsjahr festgestellt wurde.

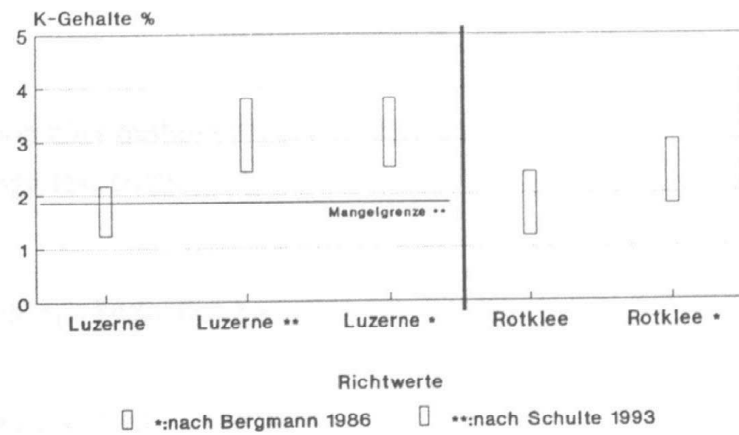
a) Stickstoff



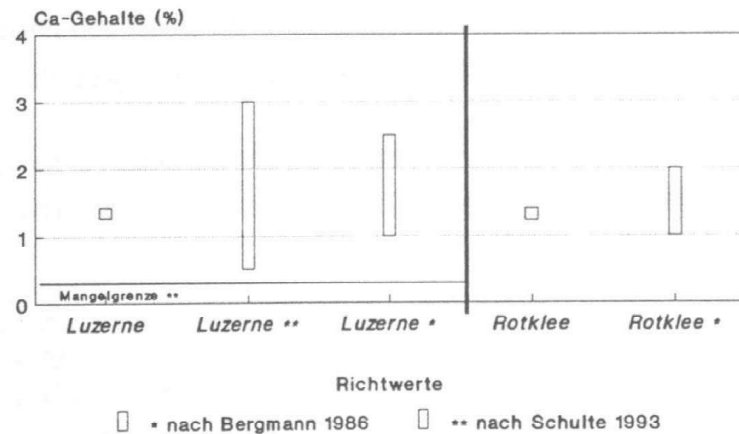
b) Phosphor:



c) Kalium:



d) Kalzium:



e) Magnesium:

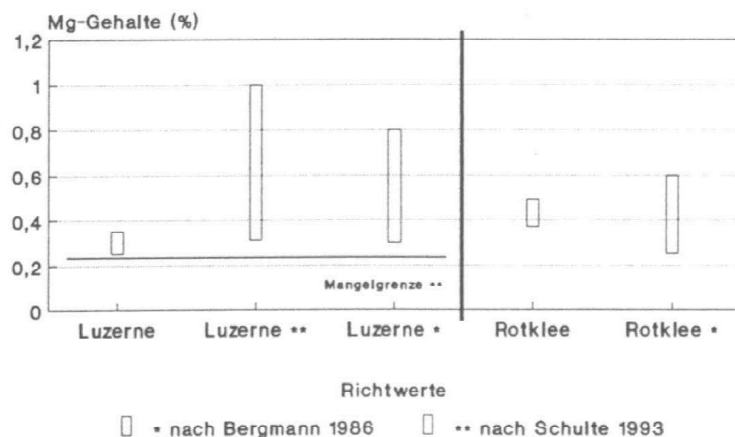


Abbildung 6: Bereich gemessener Nherelementgehalte von Luzerne und Rotklee und Richtwerte für ausreichende Versorgung Versuchsteil A

Alle im Versuchsteil auf den 4 Feldern, insgesamt 23 Probeflächen, gemessenen Parameter sind im Anhang dargestellt.

Wie aus Abbildung 6 ersichtlich, liegen die N-Gehalte der Pflanzen im normalen Bereich. Während die P-Gehalte sowohl für Rotklee als auch für Luzerne und die K-Gehalte für Rotklee im unteren Bereich einer ausreichenden Versorgung liegen, liegen die K-Gehalte für Luzerne extrem niedrig. Diese Werte bestätigen die visuell festgestellten K-Mangel-Symptome. Die Mg-Werte liegen für Rotklee im mittleren, für Luzerne im unteren Bereich einer ausreichenden Versorgung. Die Ca-Versorgung ist für beide Pflanzenarten ausreichend.

Bei der paarweisen Korrelation aller bestimmten Pflanzenparameter lassen sich folgende absicherbaren Zusammenhänge feststellen ($P < 0,001 = ***$ / $0,001 < P < 0,005 = **$ / $0,005 < P < 0,01 = *$):

Hochsignifikante Zusammenhänge bestanden zwischen den Phosphor- und Kaliumgehalten von Luzerne und Rotklee:

| | | |
|-----------|------------------|-----|
| Luzerne-P | Klee-Pr = + 0,90 | *** |
| Luzerne-K | Klee-Kr = + 0,93 | *** |

Dieser Befund bestätigt die nach den Bodenuntersuchungen geäußerte Vermutung, daß die beiden Nährstoffe für die beiden Leguminosen im Mangel sind.

Ebenfalls hochsignifikant zeigen sich die Kalium-Kalzium bzw. Kalium-Magnesium Antagonismen sowie die positive Korrelation zwischen den Mg- und Ca-Gehalten in Luzerne.

| | | | |
|------------|------------|--------------|-----|
| Luzerne-K | Luzerne-Ca | $r = - 0,77$ | *** |
| Luzerne-K | Luzerne-Mg | $r = - 0,81$ | *** |
| Luzerne-Mg | Luzerne-Ca | $r = + 0,74$ | *** |

Abbildung 7 zeigt den gefundenen K-Mg-Antagonismus bei Luzerne.

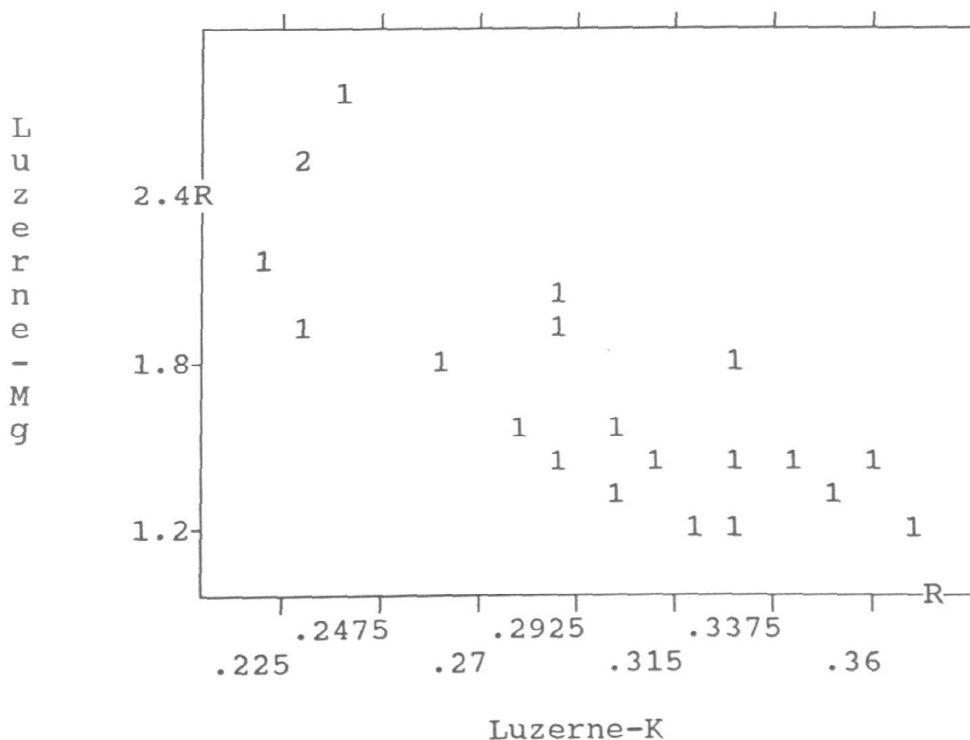


Abbildung 7: K-Mg-Antagonismus bei Luzerne ($r = - 0,81$; $P < 0001$)

Weniger deutlich ausgeprägt sind diese Zusammenhänge bei Rotklee.

| | | | |
|---------|---------|--------------|---|
| Klee-K | Klee-Ca | $r = - 0,70$ | * |
| Klee-K | Klee-Mg | $r = - 0,65$ | * |
| Klee-Ca | Klee-Mg | $r = + 0,78$ | * |

Ein positiver Zusammenhang besteht zwischen den Ca- und Mg- Gehalten von Luzerne und Rotklee und den jeweiligen N-Gehalten.

| | | | |
|-----------|------------|--------------|----|
| Luzerne-N | Luzerne-Ca | $r = + 0,49$ | * |
| Luzerne-N | Luzerne-Mg | $r = + 0,50$ | ** |
| Klee-N | Klee-Ca | $r = + 0,82$ | ** |
| Klee-N | Klee-Mg | $r = + 0,71$ | * |

Eine Übersicht über alle Korrelationen findet sich im Anhang.

3.3. Pflanzenbestand im Versuchsteil B

3.3.1. Visuelle Beschreibung und Entwicklung des Bestandes

Nach der Ernte der Deckfrucht war der Luzernebestand im Herbst sehr uneinheitlich. Stellenweise hatte ein üppiger Wuchs der Gerste die Luzerne sehr niedrig gehalten. An Stellen mit offensichtlich sehr schlechtem Wuchs der Gerste konnte die Luzerne eine Höhe von 40-50 cm erreichen. Eine kurzfristige Beweidung des Bestandes im Herbst mit Kühen hatte die Wirkung eines Schröpfungsschnittes und glich diese Unterschiede weitgehend aus. Mit Ausnahme von aufgelaufenem Ausfallgetreide war der Bestand im Herbst nahezu beikrautfrei.

Im Frühjahr waren die kleinflächig verteilten Unregelmäßigkeiten im Bestand verschwunden. Sehr auffällige Unterschiede in der Wachstumsleistung waren jedoch in breiten Streifen ($> 100\text{m}$) längs zur Hauptbearbeitungsrichtung, das heißt quer zur Luzerneansaat und zur Versuchsanlage, festzustellen. Dies ist deutlich an den Ergebnissen der Trockenmasseertragsbestimmung zum Probenahmetermin im Mai festzustellen. Abbildung 8 zeigt die TM-Erträge von Luzerne im Mai für die drei und die sechs Wiederholungen im Juli als Mittelwerte aus den zwölf Varianten.

Wie im Methodenteil erwähnt, wurde die TM-Bestimmung im Mai nur mit der Absicht durchgeführt, Vergleichszahlen für die unterschiedliche Wüchsigkeit punktuell an den einzelnen Probepunkten zu erhalten. Zur TM-Bestimmung wurde lediglich die Menge der zur Knöllchenbestimmung geernteten Pflanzen ($15 \times 15\text{cm}$) verwendet. Eine Hochrechnung auf TM-Erträge pro m^2 oder gar pro Hektar ist nicht möglich. Die Standardabweichungen für die gezeigten Werte sind 2,8; 0,6 und 5,5 $\text{gTM/plot}(15 \times 15)$ für Mai und 75, 53, 51, 37, 57 und 43 gTM/m^2 .

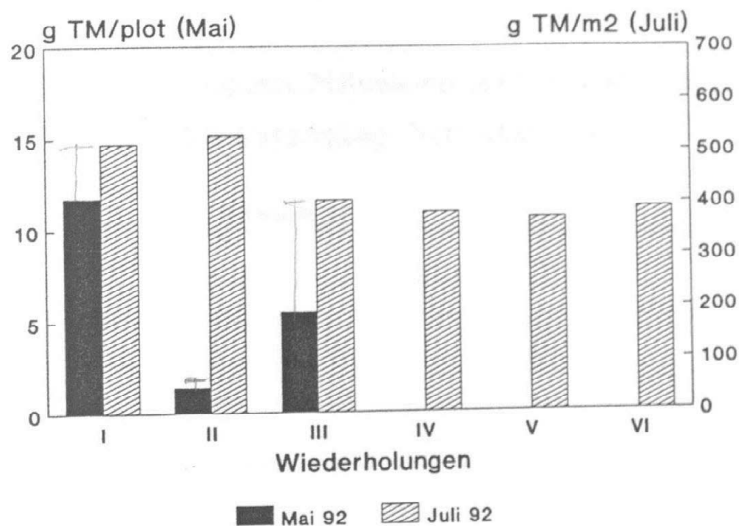


Abbildung 8: Heterogenität der Wüchsigkeit von Luzerne im Mai und Juli 1992 (Versuchsteil B)

Die Gründe für die extrem unterschiedliche Wuchsleistung der Pflanzen in den verschiedenen Wiederholungen im Mai konnten nicht geklärt werden.

Wie die Abbildung zeigt, waren zum Probenahmetermin im Juli die Unterschiede in der Ertragsbildung zwischen den Wiederholungen weitgehend ausgeglichen. Die lang anhaltende Trockenheit hatte jedoch zu einem verminderten Wachstum geführt.

Die niedrigeren Erträge in den Wiederholungen 3-6 im Vergleich zu den Wiederholungen 1-2 sind wahrscheinlich auf die stark unterschiedlichen Phosphorgehalte in den einzelnen Wiederholungen zurückzuführen (vergleiche Kap. 3.1.3.3.c).

Visuell war der Bestand durchweg besser entwickelt als alle Probeflächen des Versuchsteiles A. Dies bestätigen auch die Vergleiche der TM-Erträge (siehe Kapitel 3.5.). An Krankheiten und Schädlingen war ein leichter Befall durch den Blattrandkäfer (*Sitona lineatus*), sowie ein mittlerer Befall mit Luzernemosaikvirus und Klappenschorf (*Pseudopeziza medicaginis*) festzustellen.

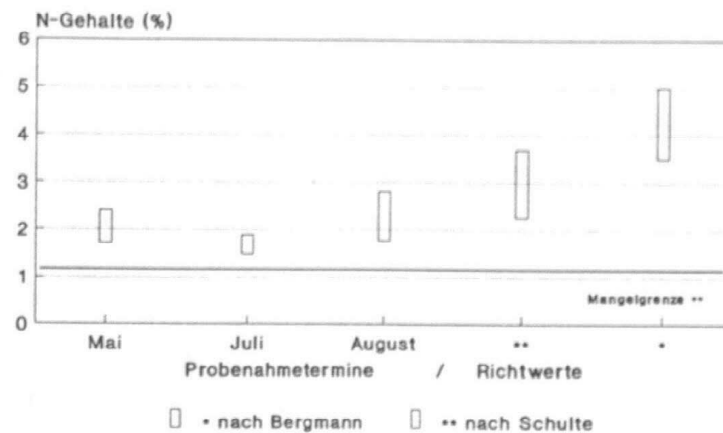
3.3.2. Nährelementgehalt im Versuchsteil B

Analog zu den Ergebnissen des Versuchsteils A werden hier die Mittelwerte und Bereiche der Gehalte an N, P und K in der Luzerne für die Probennahmetermine Mai, Juli und August im Vergleich zu den Angaben nach Bergmann (1986) und Schulte (1993) dargestellt.

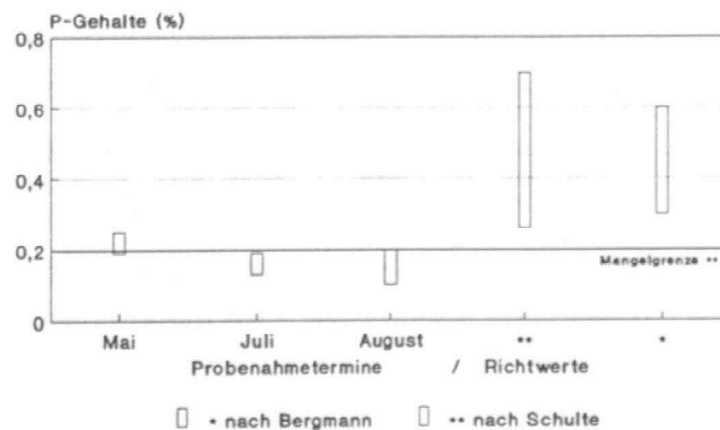
Die im Mai (1. Aufwuchs) und August (2. Aufwuchs) geerntete Luzerne war jünger als die im Juli (1. Aufwuchs) geerntete und hatte das Knospenstadium noch nicht erreicht, während die im Juli geerntete Luzerne bereits am Anfang der Blüte stand.

Abbildung 9: Bereich gemessener Nährelementgehalte von Luzerne und Rotklee und Richtwerte für ausreichende Versorgung Versuchsteil B:

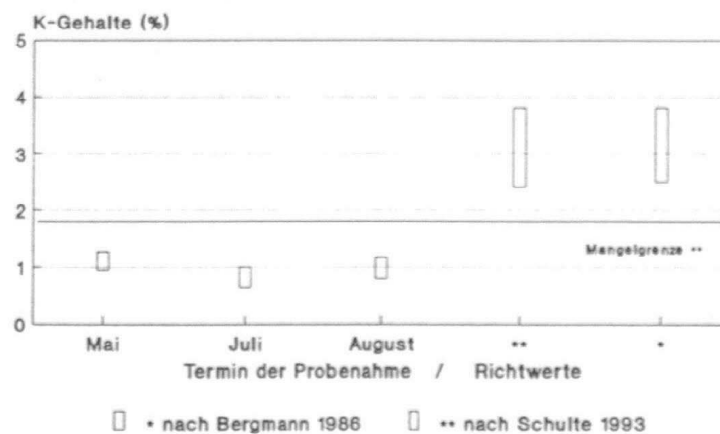
a) Stickstoff:



b) Phosphor:



c) Kalium:



3.4. Zusammenhänge zwischen Boden- und Pflanzenparametern

Durch die faktorielle Behandlung des Versuchsfeldes mit den unterschiedlichen Varianten ist die Durchführung einer Regressionsanalyse für den Versuchsteil B unzulässig.

Für den Versuchsteil A ergab die Durchführung der Regressionsanalyse für die bestimmten Boden- und Pflanzenparameter eine Reihe signifikanter Zusammenhänge:

Gute positive Zusammenhänge ergeben die Versorgung mit pflanzenverfügbaren Kalium im Boden mit den K-Gehalten von Luzerne, Rotklee und Gräsern

| | | | |
|---------|-----------|--------|-----|
| Boden-K | Luzerne-K | + 0,63 | *** |
| Boden-K | Klee-K | + 0,75 | ** |
| Boden-K | Gräser-K | + 0,71 | *** |

Dieser Zusammenhang bestätigt die nach dem Vergleich der Boden-K-Werte mit Richtwerten geäußerte Vermutung, daß pflanzenverfügbares K auf dem untersuchten Standort im Mangel ist.

Bei Phosphor sind die entsprechenden Zusammenhänge weniger stark ausgeprägt:

| | | | |
|---------|-----------|--------|---|
| Boden-P | Luzerne-P | + 0,39 | * |
| Boden-P | Klee-P | + 0,72 | * |
| Boden-P | Gräser-P | + 0,52 | * |

Auffallend ist ferner der Einfluß des Ammoniumgehaltes im Boden auf die Elementgehalte der Luzerne. Ein hoher Ammoniumgehalt im Boden scheint den Kaliumgehalt positiv, den Ca- und Mg-Gehalt negativ zu beeinflussen.

| | | | |
|-----------------------|------------|-----------|-----|
| Boden-NH ₄ | Luzerne-K | r= + 0,64 | *** |
| Boden-NH ₄ | Luzerne-Ca | r= - 0,66 | *** |
| Boden-NH ₄ | Luzerne-Mg | r= - 0,63 | *** |

Eine ähnliche Wirkung scheint vom P-Gehalt der Böden auszugehen. Dabei besteht nur ein sehr geringer Zusammenhang zwischen NH₄- und P-Gehalt der Böden (r= 0,39, *).

| | | | |
|---------|------------|-----------|-----|
| Boden-P | Luzerne-K | r= + 0,53 | ** |
| Boden-P | Luzerne-Ca | r= - 0,38 | * |
| Boden-P | Luzerne-Mg | r= - 0,69 | *** |

Für den N-Gehalt von Luzerne und Rotklee ergaben sich keine signifikanten Zusammenhänge mit bestimmten Bodenparametern. Ebenso blieben die Behandlungsvarianten in Versuchsteil B ohne Einfluß auf den N-Gehalt der untersuchten Luzernepflanzen.

3.5. Trockenmasseertrag

Die Erträge für Luzerne, Klee und Gesamtpflanzenmasse waren für die verschiedenen Probeflächen von Versuchsteil A extrem unterschiedlich. Beispielfür andere Flächen werden in Abbildung 10 die Ertragskomponenten für die Flächen 750 (hoher Ertrag, hoher Luzerneanteil), 710 (hoher Ertrag, mittlerer Luzerneanteil), 570 (mittlerer Ertrag, hoher Luzerneanteil), 510 (niedriger Ertrag, mittlerer Luzerneanteil), 120 (hoher Ertrag, niedriger Luzerneanteil) dargestellt werden.

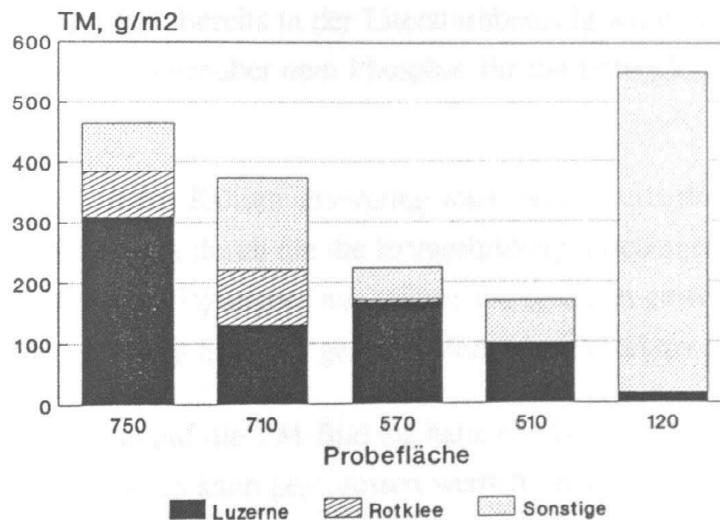


Abbildung 10: TM-Erträge von Luzerne, Rotklee, Gräsern und Beikräutern für ausgewählte Probeflächen im Versuchsteil A

Der Vergleich der Bodendaten mit den Trockenmasseerträgen der Luzerne ergab im Versuchsteil A lediglich eine schwache positive Korrelation mit dem pH-Wert des Bodens und der Lagerungsdichte:

| | | | |
|-------------|------------|--------------|---|
| pH | TM-Luzerne | $r = + 0,40$ | * |
| Lag.-dichte | TM-Luzerne | $r = + 0,45$ | * |

Für den Trockenmasseertrag von Rotklee ergab sich lediglich eine positive Korrelation mit der Lagerungsdichte des Bodens

| | | | |
|-------------|---------|--------------|----|
| Lag.-dichte | TM-Klee | $r = + 0,54$ | ** |
|-------------|---------|--------------|----|

Keiner der Nährstoffe hatte einen Einfluß auf den Trockenmasse-Ertrag von Luzerne und Rotklee. Dies läßt vermuten, daß ackerbauliche Gründe, wie Saatbeetzustand zur Saat, Saattermin, Pflege der Bestände sowie Krankheits- und Schädlingsbefall für den Ertrag eine übergeordnete Rolle spielen.

Im Versuchsteil B lagen die Erträge der Luzerne durchweg höher als auf den Probeflächen von Versuchsteil A. Unterschiede in den ackerbaulichen Rahmenbedingungen für die einzelnen Wiederholungen waren durch die einheitliche Bearbeitung des Versuchsfeldes geringer als im Versuchsteil A.

Für den Probenahmetermin im Juli wurde sowohl durch eine Korrelationsanalyse ($r = 0,64$ **) als auch mit Hilfe einer multiplen Varianzanalyse, in der das pflanzenverfügbare P als Kovariate einging, mit $P = 0,002$ (=**) ein positiver Einfluß des pflanzenverfügbaren Phosphors auf den TM-Ertrag der Luzerne nachgewiesen. Zu diesem Probenahmetermin waren die Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphor extrem niedrig (siehe Kap. 3.1.3.3.c).

Obwohl die K-Versorgung der Böden niedrig war und ausgeprägte K-Mangelsymptome an den Pflanzen zu beobachten waren, konnte kein Einfluß der K-Versorgung auf den TM-

Ertrag festgestellt werden. Bereits in der Literaturübersicht wurde jedoch auf die geringere Bedeutung des Kaliums gegenüber dem Phosphor für die Entwicklung der Luzerne hingewiesen.

Ein eventueller Einfluß der Kaliumversorgung wäre, wie bereits für die P-Versorgung erwähnt, im Versuchsteil A durch die die Ertragsbildung anscheinend dominierenden ackerbaulichen Rahmenbedingungen, nur schwer festzustellen gewesen. Im Versuchsteil B war die Kalium-Versorgung über das gesamte Versuchsfeld relativ einheitlich.

Ebenfalls keinen Einfluß auf die TM-Bildung hatte der Besatz von Luzerne und Rotklee mit Knöllchenbakterien. Daraus kann geschlossen werden, daß die Leguminosen unter den gegebenen Bedingungen ihren Stickstoffbedarf entweder aus mineralisiertem Bodenstickstoff oder mineralisierten Pflanzenresten decken. Die Knöllchen können dabei wenig aktiv sein, oder die Rolle der Knöllchen bei der Trockenmassebildung wird von anderen Faktoren überlagert.

Eine Übersicht über Ergebnisse der Korrelationsanalyse, der durchgeführten Regressionsanalysen sowie der Varianzanalysen befindet sich im Anhang.

3.6. Knöllchenbesatz und Einflußfaktoren

3.6.1. Knöllchenbesatz

Eine Übersicht über die im Versuchsteil A an Luzerne und Rotklee bonitierten Knöllchenzahlen bestehend aus den Faktoren zahlenmäßiger Besatz, Größe und Aktivität befindet sich im Anhang.

In beiden Versuchsteilen war der Knöllchenbesatz der Luzerne eher als gering einzustufen. Bis auf wenige Ausnahmen waren die Knöllchen klein. Große Knöllchen traten hauptsächlich an einigen kurzen Wurzelabschnitten konzentriert als sogenannte koralloide Knöllchen (Lim und Burton, 1982) auf. Die überwiegende Zahl der Knöllchen in Versuchsteil B war aktiv. Dahingegen war die Aktivität der Knöllchen an Luzerne in Versuchsteil A sehr uneinheitlich.

Auf den Probeflächen im zweiten Hauptnutzungsjahr der Luzerne war der Besatz mit Knöllchen generell geringer als auf Flächen im ersten Hauptnutzungsjahr.

Da auf vielen Probeflächen im Versuchsteil A auch Rotklee im Bestand vorhanden war, war es möglich, auch den Knöllchenbesatz des Rotklee zu bonitieren. Der Knöllchenbesatz von Rotklee war auf allen Probeflächen deutlich höher als der der Luzerne.

Abbildung 11 zeigt die bonitierten Knöllchenzahlen für Luzerne und Rotklee als Mittelwerte der Probeflächen für die Felder 1,5,6 und 7. Da auf den Probeflächen von Feld 7 Rotklee nur sporadisch vorkam, konnten hier keine Knöllchen bonitiert werden.

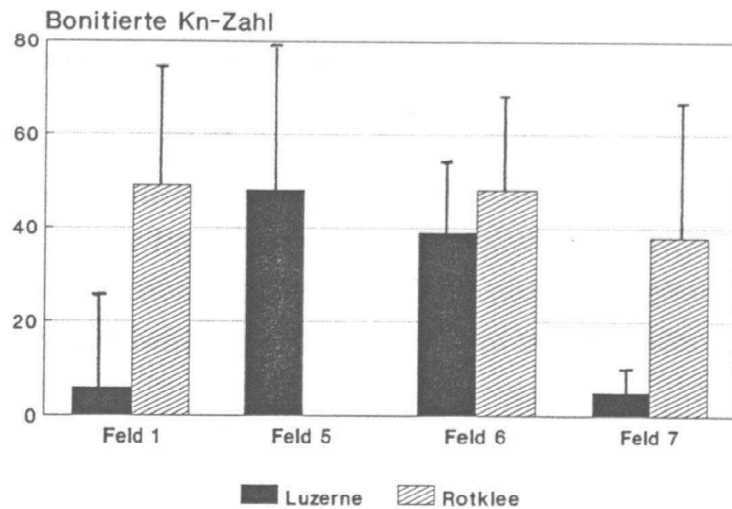


Abbildung 11: Bonitierter Knöllchenbesatz von Luzerne und Rotklee nach Feldern (Versuchsteil A)

Die durchschnittliche Anzahl aktiver Knöllchen für die drei Beprobungstermine in Versuchsteil B (Herbst 1991, Mai und Juli 1992) über alle Varianten sind in Abbildung 12 dargestellt. Die Standardabweichungen waren mit ± 43 , 56 und 17 erwartungsgemäß sehr hoch.

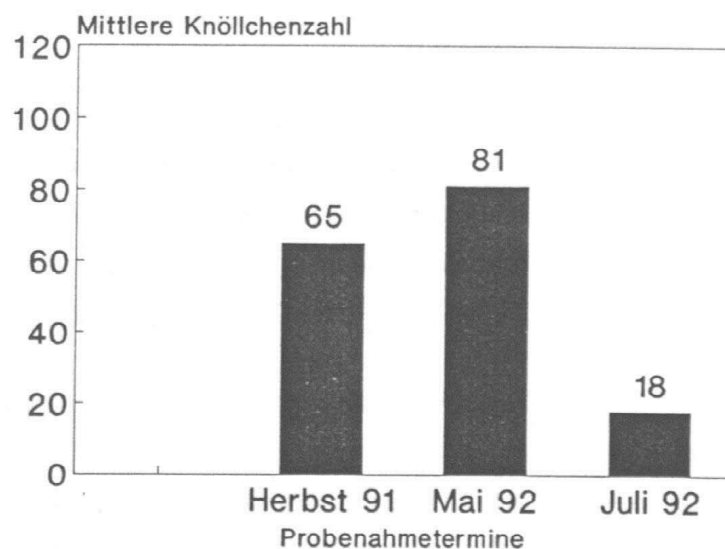


Abbildung 12: Mittlere Anzahl aktiver Knöllchen für die drei Beprobungstermine im Versuchsteil B (Herbst 1991, Mai und Juli 1992)

Im Versuchsteil B lagen die Knöllchenzahlen im Herbst 1991 und im Mai 1992 durchweg höher als im Juli 1992. Dies läßt sich durch die lange Trockenheit im Untersuchungsgebiet im Frühjahr und Sommer 1992 erklären. Von April bis August fiel auf den untersuchten Flächen kein Niederschlag.

3.6.2. Einflußfaktoren für die Knöllchenbildung

Eine Übersicht über weitere Ergebnisse der durchgeführten Korrelations-, multiplen Regressions- und Varianzanalysen befindet sich im Anhang. Im folgenden sollen die Einzelwirkungen der in der Einleitung genannten möglichen Einflußfaktoren beschrieben werden. Es kann vorweggenommen werden, daß die multiple Regressionsanalyse keine Hinweise auf eine Wechselwirkung einzelner Faktoren untereinander ergab.

Eine Faktorenanalyse, die mit den in Versuchsteil A untersuchten Boden- und Pflanzenparametern durchgeführt wurde, brachte keine weiteren Aufschlüsse für die Auswertung.

3.6.2.1. pH-Wert

Weder im Versuchsteil A noch im Versuchsteil B konnte eine positive Beziehung zwischen pH-Werten und Knöllchenbildung festgestellt werden.

Im Versuchsteil A ergab sich sogar ein schwacher negativer Zusammenhang zwischen pH-Wert und Knöllchenbesatz an Luzerne, sowie ein starker Zusammenhang zwischen pH-Wert und Knöllchenbesatz des Rotklee.

| | | | |
|----|-------------------|-------------|----|
| pH | Knöllchen Luzerne | $r = -0,39$ | * |
| pH | Knöllchen Klee | $r = -0,74$ | ** |

Im Versuchsteil B wurde der pH-Wert als Kovariate in einer multiplen Varianzanalyse auf seinen Einfluß auf den Knöllchenbesatz untersucht. Es ergab sich jedoch zu keinem der Probenahmeterminale ein Anzeichen, daß auf einen Zusammenhang zwischen den beiden Faktoren hindeuten könnte.

Der fehlende positive Zusammenhang des pH-Wertes mit dem Knöllchenbesatz kann damit begründet werden, daß die pH-Werte, wenn sie auf die in der Literatur häufig angegebenen CaCl_2 (0,01M)-Werte umgerechnet werden, in einem Bereich liegen, der auch für *Rhizobium meliloti* noch durchaus tolerierbar ist (siehe Einleitungsteil, Kap. 1.4.1).

Der eventuell bestehende negative Einfluß hoher pH-Werte auf den Knöllchenbesatz kann von einer schlechteren P-Verfügbarkeit (pH x Luzerne-P; $r = -0,51$; **) oder einer höheren N-Mineralisierung bei höheren pH-Werten herrühren. Dabei ist der negative Zusammenhang zwischen pH-Wert und Knöllchenbesatz an Rotklee stärker ausgeprägt als an Luzerne. Dies deckt sich mit den in der Einleitung beschriebenen Untersuchungen, die

eine bessere Anpassung des Rotklees als der Luzerne an niedrigere pH-Werte beschreiben. Die durchgeführte Inkrustierung der Luzernesamen im Versuchsteil B mit Kalk hat folgerichtig zu keiner Verbesserung des Knöllchenbesatzes geführt.

3.6.2.2. Aktive Rhizobium-Stämme

Die teilweise sehr geringe Aktivität der Knöllchen an Luzerne im Versuchsteil A läßt die Vermutung zu, daß es sich hierbei entweder um *Rhizobium trifolii*-Bakterien oder um nicht aktiven Stämme von *Rh. meliloti* handeln könnte. Beide sind in der Lage, Luzernewurzeln zu besiedeln, ohne dabei sonderlich aktiv in der Stickstofffixierung zu sein. Allerdings fanden sich auch sehr aktive Knöllchen an Luzerne. Hierbei könnte die Konkurrenz zwischen den offensichtlich dominierenden *Rh. trifolii* oder nicht aktiven *Rh. meliloti*-Stämmen und einigen wenigen aktiven *Rh. meliloti*-Stämmen eine Rolle spielen (siehe Einleitung Kap. 1.4.3.)

Die Impfung der Samen in Versuchsteil B mit den *Rhizobium meliloti*-Präparaten Radicin und Nitragin hat zu unterschiedlichen Ergebnissen geführt. Abbildung 13 zeigt den Knöllchenbesatz für die beiden Varianten, bei denen eine Impfung mit kommerziellen *Rhizobium*-Präparaten durchgeführt wurde, sowie für die Kontrolle für die drei Beprobungstermine.

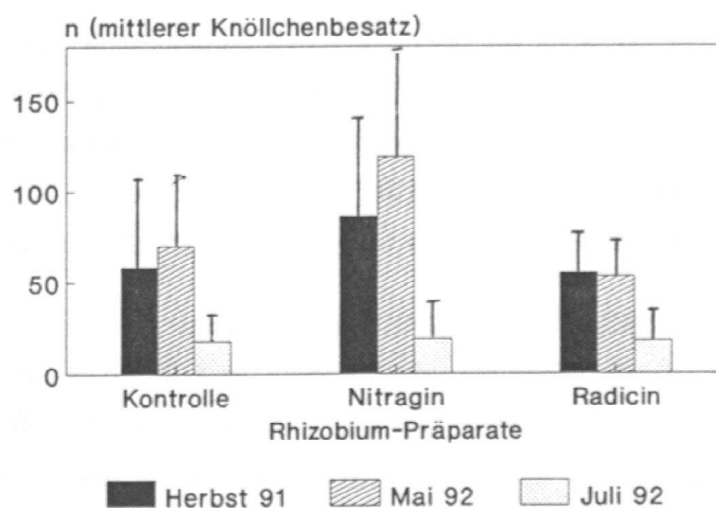


Abbildung 13: Mittlere Anzahl Knöllchen der Luzerne nach verschiedenen Impfungen mit *Rh. meliloti*-Präparaten.

Während für Radicin zu keinem Probenahmetermin ein Einfluß auf den Knöllchenbesatz festgestellt werden konnte, konnte der höhere Knöllchenbesatz für die Nitragin-Variante mit Hilfe der einfachen und einer multiplen Varianzanalyse und Scheffe-Test für den Probenahmetermin im Mai 1992 trotz der großen Standardabweichungen statistisch mit $P <$

1 % (**) abgesichert werden. Der höhere Knöllchenbesatz der Nitragin-Variante im Herbst 1991 ließ sich statistisch nicht absichern.

Der Probennahmetermin im Mai zeichnet sich durch eine durchweg höhere P-Versorgung des Bodens auf dem Versuchsfeld gegenüber den anderen beiden Terminen aus. Dies läßt vermuten, daß in den Boden gebrachte aktive Rhizobium-Stämme nur unter entsprechenden ökologischen Bedingungen, in diesem Fall einer ausreichenden P-Versorgung, Vorteile bringen.

Die unterschiedliche Reaktion der beiden verwendeten Rhizobium-Präparate läßt sich eventuell mit Hilfe der im Einführungsteil geschilderten Diskussion über die ökologische Angepaßtheit von anthropogen in den Boden gebrachten Rhizobium-Stämmen erklären. Während Radicin in Deutschland gezüchtet wurde, stammt Nitragin aus Wisconsin, einer Region, die sowohl klimatisch als auch bodengeographisch den Bedingungen in der zentralrussischen Schwarzerdezone sehr ähnlich ist. Dies würde die These unterstützen, daß die ökologische Herkunft des geimpften Stammes einen Einfluß auf den Erfolg der Impfung hat.

3.6.2.3. N_{\min} -Gehalte im Boden

Durch die allgemein hohen Gehalte an organisch gebundenem Stickstoff in Schwarzerdeböden, dem hohen festgestellten N-Nachlieferungsvermögen des Versuchsfeldes und den besonders 1991 für eine N-Mineralisation günstigen Witterungsbedingungen ist es durchaus möglich, daß N_{\min} -Gehalte im Boden erreicht wurden, die die N-Fixierungsaktivität der Knöllchen unterdrücken können.

Für den Wertebereich von 60 - 80 mg leicht hydrolisierbares N /kg Boden, der für den Großteil der Proben im Versuchsteil B gemessen wurde, ergibt sich für die Bodenschicht 0-30 cm ein Gehalt von 200-300 kg N/ ha. Geht man von einem Gesamt-N-Gehalt im Oberboden (0-28cm) von 9.000 kg/ha und einer jährlichen Mineralisierungsrate von 1,5 % aus, ergibt sich eine jährlich mineralisierte N-Menge von 135 kg/ha. Dies sind Werte bei denen eine Hemmung der N-Fixierungsleistung der Rhizobium-Bakterien auftreten kann (vergleiche Einleitung, Kap. 1.4.2.).

Obwohl die Luzerne im Reinbestand ohne Nichtleguminosen als Stickstoffverwerter wuchs, lagen die gemessenen N_{\min} -Gehalte im Boden mit durchschnittlich $< 1\text{ mg NO}_3\text{-N/kg}$ Boden sehr niedrig. Die gleichzeitig niedrigen N-Gehalte in den Pflanzen zu allen Beprobungsterminen lassen den Schluß zu, daß die Luzerne unter Bedingungen einer schlechten N-Versorgung wuchs, d.h. daß die N-Freisetzung im Boden den Pflanzenbedarf

Ebenso weist der Befund, daß in keinem der Versuchsteile ein Zusammenhang zwischen Knöllchenbesatz und -aktivität einerseits und Trockenmasseertrag und N-Gehalt der Luzerne andererseits besteht, darauf hin, daß die Knöllchen im Versuchszeitraum keinen ertragswirksamen Beitrag zur N-Versorgung der Luzerne leisten konnten.

Eine entscheidende Rolle für den Knöllchenbesatz der Luzerne auf den untersuchten Standorten scheint die P-Versorgung der Böden zu haben. Die Korrelationsanalyse ergab einen hochsignifikanten Zusammenhang ($P < 0,0001$) zwischen dem pflanzenverfügbaren P im Boden und der bonitierten Knöllchenzahl im Versuchsteil A.

Abbildung 14 verdeutlicht den gefundenen Zusammenhang.



Der Einfluß der P-Versorgung auf den Knöllchenbesatz wird durch die bestehenden positiven Zusammenhänge der P-Gehalte der Pflanzen mit dem Knöllchenbesatz der Luzerne bestätigt.

| | | | |
|-----------|-------------------|--------------|----|
| Luzerne-P | Knöllchen Luzerne | $r = + 0,50$ | * |
| Klee-P | Knöllchen Luzerne | $r = + 0,71$ | * |
| Gräser-P | Knöllchen Luzerne | $r = + 0,66$ | ** |

Da die Ergebnisse aus Versuchsteil A auf eine entscheidende Rolle der P-Versorgung bei der Knöllchenbildung im Untersuchungsgebiet hinweisen, wurden im Versuchsteil B aufgrund eigener Erfahrungen im Untersuchungsgebiet vier P-Versorgungsklassen aufgestellt:

- I = pfl.-verfüg. $P_2O_5 < 6$ mg/ 100g Boden
- II = pfl.-verfüg. P_2O_5 6-8 mg/ 100g Boden
- III = pfl.-verfüg. P_2O_5 8-12 mg/ 100g Boden
- IV = pfl.-verfüg. $P_2O_5 > 12$ mg/ 100g Boden

Abbildung 15 zeigt den Knöllchenbesatz der Luzerne zu den drei Beprobungsterminen für die vier P-Versorgungsstufen.

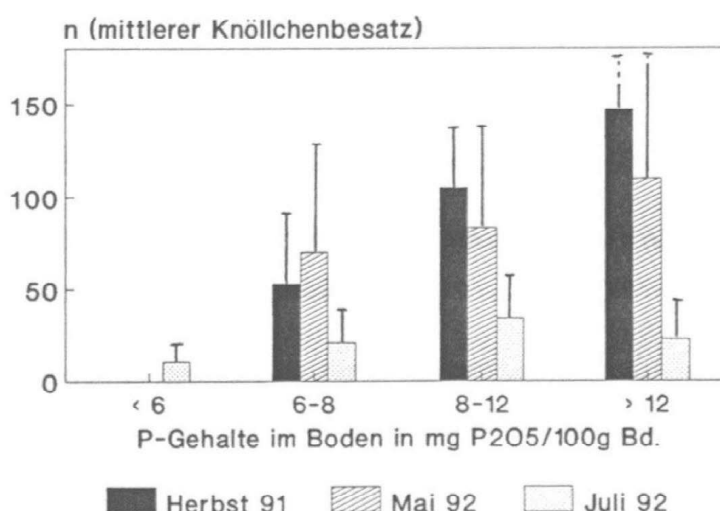


Abbildung 15: Mittlere Anzahl Knöllchen an Luzerne für verschiedene P-Versorgungsklassen

Für den Probenahmetermin im Juli 1992, bei denen die Böden von drei der sechs Wiederholungen sehr schlecht mit pflanzenverfügbarem P versorgt waren (siehe Kapitel 3.1.3.3.c), ließen sich die gezeigten Mittelwertunterschiede durch eine multiple Varianzanalyse, bei der die P-Versorgung als Kovariate in die Auswertung einbezogen wurde statistisch signifikant absichern ($P=0,2\%$).

Für den Probenahmetermin im Herbst 1991 waren die Unterschiede im Knöllchenbesatz bei unterschiedlicher P-Versorgung signifikant mit $P=1,4\%$.

Bei der Probennahme im Mai 1992 konnten aus organisatorischen Gründen nur die Wiederholungen 1-3 beprobt werden. Diese drei Wiederholungen waren relativ gut mit P versorgt. Daher ließ sich kein signifikanter Einfluß der P-Versorgung auf den Knöllchenbesatz nachweisen. Auf die Bedeutung der P-Versorgung für die Knöllchenbildung sowie deren Aktivität wurde bereits ausführlich in der Literaturübersicht im Einleitungsteil (siehe Kap. 1.4.4.) hingewiesen.

Einen wesentlich schwächeren und weniger signifikanten Einfluß auf den Knöllchenbesatz hatte die Kaliumversorgung.

Boden-K Knöllchen Luzerne $r = + 0,41$ *

Da ein signifikanter Zusammenhang zwischen der P- und K-Versorgung der Böden der einzelnen Probeflächen besteht ($r=0,60$, ***) darf der positive Zusammenhang zwischen Kalium und Knöllchenbesatz nicht als selbständiger Einfluß des Kaliums gewertet werden,

Der geringe Einfluß des Kaliums auf den Knöllchenbesatz trotz der bestehenden K-Unterversorgung der Pflanzen deckt sich mit den in der Einleitung beschriebenen Untersuchungen, in denen dem Kalium nur ein indirekter Einfluß auf den Knöllchenbesatz zugeschrieben wird.

3.6.2.5. Ca- und Mg- Versorgung

Für die Ca- und Mg-Gehalte der Böden ergab sich im Versuchsteil A kein Zusammenhang mit dem Knöllchenbesatz von Luzerne und Rotklee.

Da die Ca- und Mg-Gehalte in den Böden und in den Pflanzen ausreichend waren (vergleiche Kapitel 1.4.) und auch der prozentuale Anteil der Belegung mit Ca^{2+} -Ionen an der KAK mit über 75 % im Oberboden ausreichend hoch für eine ungestörte Entwicklung der Knöllchen war, konnte dieses Ergebnis erwartet werden. 1992 wurde im Versuchsteil B auf eine Untersuchung der Ca- und Mg-Gehalte verzichtet.

3.6.2.6. Mikronährstoffe

Wie bereits erwähnt lagen die im Versuchsteil B bestimmten Werte für pflanzenverfügbares Molybdän für die meisten Proben im Bereich einer ausreichenden Versorgung auch für Mo-anspruchsvolle Pflanzen. Obwohl die gemessenen Mo-Werte im Boden keinen Zusammenhang mit TM-Ertrag, Nährelementgehalt und Knöllchenbesatz im Versuchsteil B ergaben, waren dennoch an den Pflanzen Symptome vorhanden, die auf einen Mo-Mangel hindeuten könnten. Dies waren Aufhellung und Vergilbung der Blätter vorwiegend vom Rand her (Bergmann, 1986). Da diese Symptome jedoch vor allem auf den Flächen im Versuchsteil A auftraten kann keine Aussage über einen möglichen Zusammenhang gemacht werden.

Für die durchgeführte Impfung der Luzernesamen mit Molybdän auf den Knöllchenbesatz konnte keine Wirkung festgestellt werden.

3.6.2.7. Bodenstruktur

Im Versuchsteil A konnte ein negativer Zusammenhang zwischen der Lagerungsdichte der Böden und dem Knöllchenbesatz der Luzerne ($r=-0,52$; *) festgestellt werden. Kein signifikanter Zusammenhang bestand zwischen dem Knöllchenbesatz und der Aggregatstabilität.

Nachdem im Einleitungsteil bereits auf die Empfindlichkeit der Luzerne gegenüber Bodenverdichtungen hingewiesen wurde, läßt der festgestellte negative Zusammenhang zwischen der Lagerungsdichte der Böden und dem Knöllchenbesatz der Luzerne sowie der beschriebene allgemeine schlechte Strukturzustand der Böden im Untersuchungsgebiet die Vermutung zu, daß eine schlechte Bodenstruktur mitverantwortlich für den gehemmten Rhizobiumbesatz an Luzerne auf den untersuchten Flächen gemacht werden kann.

3.6.2.8. Wassermangel, Hitzeschädigung

Die durchgeführten Untersuchungen geben keinen Aufschluß über den Einfluß von Bodenfeuchte und Temperatur auf den Knöllchenbesatz. Es wird jedoch vermutet, daß für den sehr geringe Knöllchenbesatz im Versuchsteil B im Juli die langanhaltende Trockenheit mitverantwortlich gemacht werden kann.

3.6.2.9. Schwermetallbelastung, Rückstände von Pflanzenschutzmitteln im Boden

Es wurden keine Untersuchungen über die Belastung der Böden mit Schwermetallen und Pflanzenschutzmitteln durchgeführt. Da jedoch dem Wuchstoffherbizid 2,4-D, daß das am meisten verwendete Pflanzenschutzmittel auf dem untersuchten Gebiet darstellt, eine hemmende Wirkung auf die Infizierung der Luzernewurzeln mit aktiven Rhizobium-Stämmen zugeschrieben wird (siehe Einleitungsteil, Kap. 1.4.), kann eine eventuelle Schädigung der Knöllchen auch für das Untersuchungsgebiet nicht ausgeschlossen werden.

3.6.2.10. Krankheiten und Schädlinge

Der stärkere Krankheits- und Schädlingsbefall der Pflanzen im zweiten Hauptnutzungsjahr gegenüber den Pflanzen im ersten Hauptnutzungsjahr und der gleichzeitig deutlich geringere Knöllchenbesatz legen die Vermutung nahe, daß Krankheits- und Schädlingsbefall eine negative Wirkung auf den Knöllchenbesatz haben. Dies kann sowohl indirekt über die Störung des Kohlenhydratstoffwechsels durch den festgestellten Befall mit Verticilium-Welke und Rhizoctonia als auch direkt über die sich von Knöllchen ernährenden Larven des Blattrandkäfers (*Sitona lineatus*) geschehen.

3.6.2.11. Frost

Im Versuchsteil A, insbesondere auf Feld 7, wurden Schäden am Wurzelhals festgestellt, die ihre Ursache in Spätfrösten haben können. Eine dadurch hervorgerufene Störung des Kohlehydrattransportes in die Wurzel kann zu dem sehr schlechten Knöllchenbesatz auf den Probeflächen von Feld 7 geführt haben.

4. SCHLUßFOLGERUNGEN

Von den eingangs (Kap. 1.4.) diskutierten möglichen Ursachen für den niedrigen Knöllchenbesatz kann für die untersuchten Flächen ein zu niedriger pH-Wert als Ursache ausgeschlossen werden. Dies läßt eine Kalkung der Flächen aus der Sicht der symbiontischen Stickstoff-Fixierung durch Knöllchenbakterien unnötig erscheinen.

Ebenso ohne Einfluß blieb eine Behandlung des Saatgutes mit Molybdän. Die Böden im Untersuchungsgebiet scheinen ausreichend mit pflanzenverfügbarem Molybdän versorgt zu sein.

Dahingegen deuten die Ergebnisse darauf hin, daß unter den gegebenen Bedingungen eine ausreichende Versorgung der Pflanzen mit pflanzenverfügbarem Phosphor entscheidend für eine verbesserte Nodulierung ist. Ein Wert von 8-9 mg P_2O_5 / 100 g Boden (nach Tschirikov) scheint ein Minimum für einen guten Besatz der Luzernewurzeln mit den vorhandenen Rhizobium-Stämmen darzustellen.

Daher scheint eine Verbesserung der P-Versorgung der Böden durch eine Düngung mit leichtlöslichen Phosphaten für die untersuchten Flächen empfehlenswert. Da der Gesamt-P-Gehalt mit 0,16 % P_2O_5 im Oberboden des Versuchsfeldes im mittleren Bereich liegt, können unter Umständen Maßnahmen genügen, die die Pflanzenverfügbarkeit des vorhandenen Boden-P erhöhen. In diesem Zusammenhang drängt sich die Frage nach dem Vorhandensein von Mykorrhizzen auf, die in der Lage sind, die P-Verfügbarkeit gerade für Leguminosen nachhaltig zu erhöhen (Mengel und Kirkby, 1987).

Da eine Impfung mit VA-Mykorrhizen in mehreren Untersuchungen sowohl zu Ertragssteigerungen sowie zu höheren N- und P-Gehalten in der Pflanze, als auch zu einer deutlich höheren N-Fixierungsleistung bei Luzerne geführt hat (siehe Einleitungsteil), wird empfohlen, eine dahingehende Untersuchung verbunden mit einer Impfung der Flächen mit aktiven Mykorrhizza-Stämmen gemeinsam mit aktiven Rhizobium-Stämmen durchzuführen.

Die Impfung des Saatgutes mit aktiven Rhizobium-Stämmen kann eine positive Wirkung auf den Knöllchenbesatz der Luzerne und deren Aktivität ergeben, sofern die bodenchemischen und bodenphysikalischen Rahmenbedingungen, insbesondere die P-Versorgung, in Ordnung sind. Hierbei scheint es empfehlenswert, die Impfung des Saatgutes mit einer Reihe weiterer Rhizobium-Stämme zu untersuchen. Dadurch können Stämme gefunden werden, die den ökologischen Bedingungen im gegebenen Gebiet am besten entsprechen und die über eine ausreichend große Konkurrenzkraft gegenüber bodenbürtigen Stämmen verfügen.

Da in allen Untersuchungen kein signifikanter Zusammenhang zwischen Knöllchenbesatz bzw. -aktivität und dem TM-Ertrag und dem N-Gehalt von Luzerne gefunden wurde, stellt sich die Frage der Notwendigkeit einer funktionierenden stickstofffixierenden Symbiose

zwischen Luzerne und *Rhizobium meliloti*. Mit der Umstellung der Flächen auf ökologische Wirtschaftsweise und dem damit verbundenen Verzicht auf den Einsatz mineralischer N-Dünger ist auch mit einer Verarmung des N-Kreislaufes innerhalb der Fruchtfolge zu rechnen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt können alle Pflanzen vom hohen Anteil an Zuckerrüben in der Fruchtfolge und einem damit verbundenen hohen N-Überschuß profitieren.

Genaue Informationen über eine hemmende Wirkung der hohen N-Mineralisierungsrate auf den Knöllchenbesatz werden erst nach einem mehrjährigen Verzicht auf den Einsatz mineralischer N-Dünger möglich sein.

Um dennoch bessere Aufschlüsse über das Zusammenwirken des mineralisierten Bodenstickstoffs und die N-Fixierungsleistung der Knöllchenbakterien zu bekommen, sollten detailliertere Untersuchungen über den N-Kreislauf auf den Umstellungsflächen durchgeführt werden.

Unter den gegenwärtigen Bedingungen scheinen ackerbauliche Faktoren wie Saatzeit, Saatbeetvorbereitung und die Pflege der Bestände eine übergeordnete Rolle für die Ertragsbildung zu spielen.

Obwohl die Impfung des Saatgutes mit Molybdän keinen Einfluß auf die Luzerne hatte, sollte dieser Faktor in der Zukunft dennoch als mögliche Ursache nicht ausgeschlossen werden. Zu empfehlen wäre eine Bestimmung der Mo-Gehalte in den Pflanzen.

Größere Aufmerksamkeit sollte der Bedeutung der nicht untersuchten Einflußfaktoren gewidmet werden. Insbesondere der Befall der Luzerne mit Krankheiten und Schädlingen muß genauer und systematisch erfaßt werden, um deren Einflüsse auf den Knöllchenbesatz und die Knöllchenaktivität abschätzen zu können.

Obwohl die Bodenstruktur unterhalb der Pflugschicht nicht untersucht wurde, lassen die Wurzelbilder der ausgegrabenen Luzernepflanzen auf eine sehr starke Bodenverdichtung im Bereich der Pflugsohle schließen. Durch den geringeren effektiven Wurzelraum wird die Menge der den Pflanzen zur Verfügung stehenden Pflanzennährstoffe und Wasser stark eingeschränkt. Durch eine Verbesserung der Bodenstruktur im Bereich und unterhalb der Pflugsohle würden sich wahrscheinlich die festgestellten Nährstoffengpässe für Phosphor und Kalium aufgrund des größeren zur Verfügung stehenden Wurzelraumes ohne eine zusätzliche Düngung mit leichtlöslichen Mineraldüngern nachhaltig beheben lassen. In zukünftigen Untersuchungen sollte mehr Wert auf eine Bestimmung bodenphysikalischer Parameter unterhalb der Pflugsohle gelegt werden.

Da unter den untersuchten Bedingungen der Knöllchenbesatz bei Rotklee viel höher lag als bei Luzerne und die N-Gehalte in der Pflanze nur unwesentlich niedriger lagen, stellt sich

die Frage, ob kurzfristig nicht ein verstärkter Anbau von Rotklee eine Alternative zum Luzerneanbau im Untersuchungsgebiet darstellen könnte. Die kürzere Nutzungsdauer des Rotklee gegenüber Luzerne könnte ökonomisch durch die bessere Möglichkeit eines betriebseigenen Saatgutanbaus bei Rotklee ausgeglichen werden.

5. ZUSAMMENFASSUNG

In den Nachfolgestaaten der ehemaligen UdSSR besteht von Seiten landwirtschaftlicher Betriebe eine große Nachfrage an Methoden, die es erlauben, auf chemische Pflanzenschutzmittel und leichtlösliche Mineraldünger zu verzichten. Dieses Interesse ist hauptsächlich darin begründet, daß sich im Zuge der wirtschaftlichen Reformen agrochemische Hilfsmittel drastisch verteuert haben.

Bei einem Verzicht auf leichtlösliche Mineraldünger sind die Betriebe zur ausreichenden Versorgung des innerbetrieblichen N-Kreislaufes auf die symbiotische N-Fixierung durch Leguminosen angewiesen. In der Russischen Föderation stellen Rotklee und Luzerne die wichtigsten angebauten Leguminosenarten dar.

In der vorliegenden Arbeit wurden auf einer Kolchose in der zentralrussischen Schwarzerdezone in einem zweigeteilten Feldversuch die Gründe untersucht, die für einen geringen Besatz von Luzerne mit N-fixierenden *Rhizobium meliloti*-Knöllchen verantwortlich gemacht werden können.

Im ersten der beiden parallel durchgeführten Versuchsteile wurde eine Inventur von Faktoren durchgeführt, die einen Einfluß auf den Knöllchenbesatz der Luzerne haben können. Im zweiten Versuchsteil wurden in einem Feldversuch gezielt die Wirkungen einer Inkrustierung des Luzernesaatgutes mit Kalk, einer Saatgutbehandlung mit Molybdän und der Impfung mit zwei kommerziellen *Rhizobium*-Präparaten auf den Knöllchenbesatz untersucht. Daneben wurden chemische und physikalische Bodenparameter als Kovariaten in die Auswertung miteinbezogen.

Die durchgeführten Untersuchungen ergaben einen sehr starken hochsignifikanten Zusammenhang des Knöllchenbesatzes mit dem Gehalt an pflanzenverfügbarem P im Boden. Obwohl die Pflanzen auf mehreren Flächen ausgeprägte K-Mangelsymptome zeigten, konnte für pflanzenverfügbares K im Boden kein Einfluß auf den Knöllchenbesatz von Luzerne nachgewiesen werden. Ebenfalls keine positive Korrelation bestand zwischen dem pH-Wert der Böden und dem Knöllchenbesatz. Hier zeichnete sich sogar ein leichter negativer Zusammenhang ab. Ein Methodenvergleich der in Rußland üblichen pH-Wert-Bestimmung in 1M-KCl mit der in Deutschland üblichen CaCl_2 (0,01m)-Methode brachte einen linearen Zusammenhang ($r=0,99$) von $\text{pH}(\text{CaCl}_2) = \text{pH}(\text{KCl}) + 0,7$. Dadurch lagen fast alle Böden, wenn man die in KCl gemessenen Werte auf die CaCl_2 -Werte umrechnet, im schwach sauren Bereich, der für den Anbau von Luzerne durchaus als optimal angesehen werden kann. Keinen Einfluß hatte daher die Inkrustierung des Luzernesaatgutes mit Kalk auf den Knöllchenbesatz.

Eine Saatgutimpfung mit zwei kommerziellen Rhizobium-Präparaten brachte nur für ein Präparat einen deutlich höheren Knöllchenbesatz zum Probenahmetermin im Mai. Auf den im Mai untersuchten Flächen lag sowohl der P_2O_5 -Gehalt im Boden mit Werten $> 8 \text{ mg/100g}$ Boden, als auch die Wasserversorgung im ausreichenden Bereich. Die unterschiedliche Wirksamkeit der beiden Präparate könnte mit den unterschiedlichen ökologischen Ansprüchen der Rhizobium-Stämme zusammenhängen.

Generell war in beiden Versuchsteilen kein Einfluß des Knöllchenbesatzes auf die TM-Ertragsbildung und den N-Gehalt der Luzerne festzustellen. Die Ursachen dafür können in der geringen Aktivität der vorhandenen Knöllchen oder in einer ausreichenden N-Versorgung der Pflanzen über mineralisierten Boden-N liegen. Beide Möglichkeiten werden diskutiert.

Ungesichert blieb der Einfluß der Mikronährstoffe auf den Knöllchenbesatz. Auf den untersuchten Flächen dürfte dieser Einfluß jedoch eher gering sein.

Ackerbauliche Maßnahmen wie Saattermin, Saatbeetbereitung, Pflege der Bestände, Schnittzeitpunkt u.a., scheinen einen dominierenden Einfluß auf die TM-Erträge von Luzerne zu haben, der die Faktoren pflanzenverfügbare Nährstoffe und Knöllchenbesatz überlagert.

Auf allen Flächen ist der Strukturzustand der Böden extrem schlecht. Eine Korrelation zwischen Aggregatstabilität und Pflanzenwachstum und Knöllchenbesatz konnte jedoch nicht festgestellt werden. Dennoch ist davon auszugehen, daß die Strukturschäden durch eine Verringerung des effektiven Wurzelraumes und der damit verbundenen schlechteren Nährstoffversorgung der Pflanzen zu einer verminderten Wachstumsleistung der Luzerne führen.

6. LITERATUR

- Aderichin, P.G., 1964:** (Veränderungen von Schwarzerdeböden der zentralrussischen Schwarzerdegebiete unter landwirtschaftlicher Nutzung). in: Tschernozjeme der zentralrussischen Schwarzerdegebiete und ihre Fruchtbarkeit. Moskau, 81-89, (russisch).
- Afanasjeva, E.A., 1964:** (Die Entstehung und die Eigenschaften mächtiger Schwarzerden). In "Die Schwarzerden der zentralrussischen Schwarzerdezone und ihre Fruchtbarkeit, Moskau, 5-60,(russisch).
- Afanasjeva, E.A., 1966:** (Die Tschernozjeme der mittlrussischen Erhebung). Nauka. Moskau 1966. 224 Seiten, (russisch).
- Aldag, R., B. Meyer und K.E. Wegner, 1985:** Einfluß von Herbiziden auf die N₂-Fixierung und Atmungsaktivität von Mikroorganismen in Ackerböden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 148, 379-388.
- Allmaras, R.R., K. Ward, P.E. Rasmussen und C.R. Rohde, 1978:** Soil acidification from long-term use of ammonium-type nitrogen fertilizers. Columbia Basin Agriculture Research, Progress Report Sta. Misc. 78-4: 55-58.
- Andrew, C.S., 1976:** Effect of Calcium, pH and nitrogen on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. I. Nodulation and growth. Australian Journal of Agricultural Research 27, 611-623.
- Anonymus, 1988:** Feldfutterbau: Klee, Klee gras, Luzerne, Luzerne gras, Gräser. Merkblätter für Pflanzenbau, Nr 35. Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (Hrsg.). Freising. 2.Auflage.
- Anonymus, 1990:** Richtlinie zum Einsatz von Rhizobium-Präparaten beim Anbau von Leguminosen in Haupt- und Zwischenfruchtstellung als Rein- und Mischsaat. Forschungszentrum für Bodenfruchtbarkeit Müncheberg der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR. 4 Seiten.
- Baldani, J.I. und R.W. Weaver, 1992:** Survival of red clover rhizobia and their plasmid-cured derivatives in soil under heat and drought stress. Soil Biol. Biochem. 24 (8), 737-742.
- Banath, C.L., E.A.N. Greenwood und J.F. Loneragan, 1966:** Effects of calcium deficiency on symbiotic nitrogen fixation. Plant Physiology 41, 760-763.
- Barea, J.M., F. El-Atrach, R. Azcon, 1989:** Mycorrhiza and phosphate interactions as affecting plant development, N₂-fixation, N-transfer and N-uptake from soil in legume-grass mixtures by using a ¹⁵N dilution technique. Soil Biol. and Biochem. 21:4, 581-589.
- Beck, D.P. und D.N. Munns (1985):** Effect of Calcium on the phosphorus nutrition of Rhizobium meliloti. Soil Science Society of America Journal 49: 2, 334-337.
- Bell, F. und P.S. Nutman, 1971:** Nitrogen Fixation by Nodulated Lucerne. In: Lie, T.A. und E.G. Mulder: Biological Nitrogen Fixation in Natural and Agricultural Habitats. Plant and Soil, Special Volume, 231-264.

- Berchin, J.I., E.G. Tschagina und E.D. Jaktsen, 1987:** (Über die Natur von Phosphaten, die nach der Methode Tschirikov bestimmt werden). *Sibirskij Vestnik sel'skochozjaistvennoj nauki* 5: 20-22, (russisch).
- Bergmann, W.(Hrsg.), 1986:** Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen - Visuelle und analytische Diagnose. Farbatlas. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena. 195 Seiten.
- Bernard, S. und D. Werner, 1992:** Growth rates of *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* at low C-concentrations, nodulation efficiency and plant growth promotion in the field. *Angew. Bot.* 66, 36-41.
- Birecki, M., A. Kullmann, I.B. Revut und A.A. Rode, 1968:** Untersuchungsmethoden des Bodenstrukturzustandes. Herausgeber Internationale Bodenkundliche Gesellschaft. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin. 504 Seiten.
- Bittman S., D.A. Pulkinen und J. Waddington, 1991:** Effect of N and P fertilizers on establishment of alfalfa with a wheat companion crop. *Can.J.Plant Sci.* 71, 105-113.
- Blair, G.J. und S. Cordero, 1978:** The phosphorus efficiency of three annual legumes. *Plant and Soil* 50, 387-398.
- Bogomazov, N.P., I.A. Schilnikov, S.M. Soldatov, S.N. Lebedev, 1991:** Der Einfluß der Bodenreaktion der entbasten Schwarzerde auf die Pflanzenverfügbarkeit von Eisen und Mikronährstoffen (Modellversuch)). *Agrochimija*, 2, 84-88, (russisch).
- Bondarev, A.G., 1989:** Regulation of Physical Properties of Soils in Intensive Agriculture. *Soviet Soil Science*, 87-93.
- Bondarev, A.G., 1991:** Problem of Soil Compaction by Agricultural Machines and Ways of Resolving it. *Soviet Soil Science*, 115-121.
- Brockwell, J., 1971:** An appraisal of an IBP experiment on nitrogen fixation by noulated legumes. *Plant and Soil, Spec.Vol.*, 265-272.
- Bushby, H.V.A., 1982:** Ecology. In: Broughton, W.J.: *Nitrogen Fixation, Vol.2 Rhizobium*. Clarendon Press, Oxford. 76-145.
- Buttery, B.R., S. Bernard, W. Streit, S.J. Park und D. Werner, 1990:** Effects of rhizobium inoculum concentration strain and combained nitrogen on growth and nodulation of a supernodulating common bean and its parent line. *Canadian Journal of Plant Science* 70, 987-996.
- Buttery, B.R., S. Bernard, W. Streit, S.J. Park und D. Werner, 1990:** Effects of Rhizobium inoculum concentration strain and combined nitrogen on growth and nodulation of a supernodulating common bean and its parent line. *Canadian Journal of Plant Science* 70, 987-996.
- Buys, J., 1992:** Farm conversion towards organic agriculture in Russia. Report of a pilot-study. Dep. of ecological agriculture, Agr. Univ. Wageningen. 95 Seiten.
- Buys, J. und S. Rosenow, 1992:** Conversion towards organic agriculture in East and West Europe

- Campbell, C.A., G.P. LaFond, A.J. Leyshon, R.P. Zentner und H.H. Janzen, 1991:** Effect of Cropping Practices on the Initial Potential Rate of N- Mineralization in a Thin Black Chernozem. *Canadian Journal of Soil Science* 71, 43-53.
- Castellanos Ramos, J.Z., 1986:** Evaluacion de estiercol de bovino y gallinaza como fuentes de fosforo en el cultivo de alfalfa. *Agric. Téc. Méx.* Vol. 12(2), 247-258
- Chaifets, D.M., 1964:** (Methodenvergleich zur Bestimmung leichtlöslicher Phosphate in Böden verschiedener Zonen der Sowjetunion). *Agrochimija* 4: 3-21, (russisch).
- Charkov, G.D., 1989a:** (Klee). *Agropromizdat, Moskau*, 49 Seiten, (russisch).
- Charkov, G.D., 1989b:** (Luzerne). *Agropromizdat, Moskau*, 61 Seiten, (russisch).
- Chaudri, A.M., S.P. McGrath und K.E. Giller, 1992:** Survival of the indigenous population of rhizobium leguminosarum biovar trifolii in soil spiked with Cd, Zn, Cu and Ni salts. *Soil Biol. Biochem.* 24 (7), 625-632.
- Davis, M.R., 1991:** The comparative phosphorus requirements of some temperate perennial legumes. *Plant and soil* 133, 17-30.
- Deinum, B. und J. Eleveld, 1986:** Effects of liming and seed pelleting on the growth of lucerne on sandy soils. In: Borba, F.M. und J.M. Abreau (eds.): *Grasslands facing the energy crisis. Proc. 11th Symp. Europ. Grassland Fed., Lisabon.* 270-273.
- Derschawin, L.M., A.N. Aristarchov, A.N. Poljakov, M.A. Florinskij und T.A. Konovalova, 1989:** (Der Gehalt an pflanzenverfügbaren Mikroelementen in den Böden der UdSSR und die Effektivität von Mikronährstoffdüngern). *Agrochimija*, 11, 74-79, (russisch).
- DLG, 1973:** DLG-Futterwerttabellen, Mineralstoffgehalte in Futtermitteln. DLG-Verlag, Frankfurt/ Main.
- Dokutschajev, V.V, 1954:** (Unsere Steppen früher und heute - Ausgewählte Aufsätze), Selchosis, Moskau.
- Dorosinskij, L.M., 1970:** (Knöllchenbakterien und Nitragin). "Kolos", Leningrad, 191 Seiten, (russisch).
- Dorosinskij, L.M., L.M. Afanasjeva, 1976:** (Die Bedeutung der Luzernensorte auf die effektive Symbiose mit Knöllchenbakterien). In "Fragen der Ökologie und der Physiologie von landwirtschaftlich nutzbaren Mikroorganismwn", Leningrad, 27-32, (russisch).
- Dubikovskij, G.P., N.I. Daniltschik, 1992:** (Der Einfluß verschiedener Formen von Knöllchenbakterien und Mikronährstoffen (Mo, B) auf den Ertrag von Luzerne und die biologische Bodenaktivität). *Agrochimija*, 4, 90-95, (russisch).
- Duke, S.H. und M. Collins, 1985:** Role of potassium in legume dinitrogen fixation. in: Munson, R.D. (ed.): *Potassium in agriculture.*
- Eardly, B.D., D.B. Hannaway und P.J. Bottomley, 1985:** Nodulation of bean (*Phaseolus vulgaris*) by Rhizobia from alfalfa nodules. In: Evans, H.J., P.J. Bottomley und W.E. Newton (Hrsg.): *Nitrogen fixation research progress*, Dordrecht, Martinus Nijhoff, 316.

- Eardly, B.D., D.B. Hannaway und P.J. Bottomley, 1985:** Nitrogen nutrition and yield of seedling alfalfa as affected by ammonium nitrate fertilization. *Agronomy Journal* 77, 57-62.
- Eardly, B.D., D.B. Hannaway und P.J. Bottomley, 1988:** Residual effects of rhizobium and preplant N fertilizer on newly established alfalfa. *Journal of Agronomy and Crop Science* 161, 310-315.
- Fageira, N.K., V.C. Baligar und R.J. Wright, 1989:** Growth and nutrient concentration of alfalfa and common bean as influenced by soil acidity. *Plant and Soil* 119, 331-333.
- Fetisov J., und S. Dürr, 1993:** (in press).
- Fjodorov, M.V., E.V. Glavatschkova, 1956:** (Stickstoffixierungsleistung von Knöllchenbakterien der Luzerne). *Izvestija TCXA*, 1:11, 61-78, (russisch).
- Ganitschev, V., 1991:** (Die Lehren des A.T. Bolotov). In: Breschnjev, V.V. (Hrsg.), *Ökologische Mitteilungen des ländlichen Raumes*, 1/91). Tula, Priok. Kn. Izd., 35-38, (russisch).
- Geier, B.; 1993:** (in press).
- Georgiev, D. 1989:** (Die Wirkung und Nachwirkung einer Düngung mit Molybdän, Bor und Zink in einer Luzernefruchtfolge auf einer karbonathaltigen Schwarzerde). *Rastenievjdni nauki* 27, 2, 50-54, (russisch).
- Gerasimova, M.I., 1987:** (Geographie der Böden der UdSSR). *Vyschaja Schkola*, Moskau, 224S., (russisch).
- Gerdt, C.A., 1989:** (Gegen die Schablone im Landbau). *Zemledelje* 7, 19-22, russich.
- Germida, J., 1988:** Growth of indigenous *Rhizobium leguminosarum* and *Rhizobium melilotii* in soils amended with organic nutrients. *Applied and Environmental Microbiology*, Jan.1988, 257-263.
- Gibson, A.H., 1971:** Factors in the Physical and Biological Environment Affecting Nodulation and Nitrogen Fixation by Legumes. In: Lie, T.A. und E.G. Mulder: *Biological Nitrogen Fixation in Natural and Agricultural Habitats*. *Plant and Soil*, Special Volume, 139-152.
- Goldbach, R., 1993:** mdl. Mitteilung.
- Goldstein, W., 1993:** Ecological Agriculture Survey. *Surviving Together* 11, 1: 21-24.
- Gontscharov, P.L. und P.A. Lubenets, 1985:** (Biologische Aspekte des Luzerneanbaus). Nauka, Novosibirsk, 255 Seiten, (russisch).
- Gorbatschow, M., 1989:** Zur Agrarpolitik der KPdSU unter den gegenwärtigen Bedingungen. APN-Verlag, Moskau.
- Gorodnij, N.M., A.G. Serdjuk und A.M. Derevjantschuk, 1985:** (Agrochemische Analysen). Kiev, 255 Seiten, (russisch).
- Graham, P.H.und J.C. Rosas, 1979:** Phosphorus fertilization and symbiotic nitrogen fixation in common bean. *Agronomy Journal* 71, 925-926.
- Grigg, J.L., 1953:** A rapid method for the determination of molybdenum in soils. *Analyst* 78, 470-473.

- Haller, E., 1983:** Effect of the germinating seed environment on crop yields. I. Effect of soil acidity at germination on yields of sweet clover and alfalfa. *Experimental Agriculture* 19, 55-66.
- Hegde, R.S. und D.A. Miller, 1992:** Scanning electron microscopy for studying root morphology and anatomy in alfalfa autotoxicity. *Agronomy Journal* 84, 618-620.
- Heinze, K., 1983:** Leitfaden der Schädlingsbekämpfung, Band III, Schädlinge und Krankheiten im Ackerbau. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart
- Herrmann, G. und G.Plakolm, 1991:** Ökologischer Landbau. Österreichischer Agrarverlag, Wien, 432 Seiten.
- Holding, A.J. und J.F. Lowe, 1971:** Some Effects of Acidity and Heavy Metals on the Rhizobium - Leguminous Plant Association. In: Lie, T.A. und E.G. Mulder: Biological Nitrogen Fixation in Natural and Agricultural Habitats. Plant and Soil, Special Volume, 153-166.
- Hoveland, C.S. und M.D. Richardson, 1992:** Nitrogen Fertilization of Tall Fescue-Birdsfoot Trefoil Mixtures. *Agronomy Journal* 84, 621-627.
- IFOAM, 1990:** (Grundregeln von IFOAM). In: Rosenow, S., E. Nikulin: "Zemljedejatel 1991". Stiftung "Leben und Umwelt", Hude, 60-78, (russisch).
- In: **Bothe, H., F.J. de Bruijn und W.E. Newton (Hrsg.):** Nitrogen Fixation: Hundred Years After; Proc. 7th Int. Congress on N-Nitrogen Fixation, Köln. Gustav Fischer, Stuttgart,
- In: **Bothe, H., F.J. de Bruijn und W.E. Newton (Hrsg.):** Nitrogen Fixation: Hundred Years After; Proc. 7th Int. Congress on N-Nitrogen Fixation, Köln. Gustav Fischer, Stuttgart,
- In: **Bothe, H., F.J. de Bruijn und W.E. Newton (Hrsg.):** Nitrogen Fixation: Hundred Years After; Proc. 7th Int. Congress on N-Nitrogen Fixation, Köln. Gustav Fischer, Stuttgart,
- In: **Lie, T.A. und E.G. Mulder:** Biological Nitrogen Fixation in Natural and Agricultural Habitats. Plant and Soil, Special Volume,
- Jablokov, A.V., 1992a:** (Über die Ökologisierung der landwirtschaftlichen Produktion). In: Rosenow, S., E. Nikulin: "Zemljedejatel 1992". Stiftung "Leben und Umwelt", Hude.
- Jablokov, A.V., 1992b:** Berater des Staatspräsidenten in Umweltfragen. Mündl. Mitteilung.
- Jagodin, B.A., P.M. Smirnov, A.B. Peterburgskij, C.K. Azarov, V.A. Demin und N.V. Reschetnikova, 1989:** Agrochimija. Agropromizdat, Moskau, 655 Seiten. (russisch).
- Kämpf, R., E. Nohe, K. Petzold und J. Sneyd, 1985:** Feldfutterbau. DLG-Verlag, Frankfurt, 208 Seiten.
- Kaschtanov, A., 1992:** (Ökologie und Landwirt). In: Breschnjev, V.V. (Hrsg.): Ökologische Mitteilungen des ländlichen Raumes, 3/92). Orel, "Prostor", 13-18, (russisch).

- Kitajeva, L.I., 1992:** (Die Mikroelementzusammensetzung der entbasten Schwarzerde in Abhängigkeit ihres Säurezustandes und der Düngung mit Dolomitmehl). *Agrochimija*, 7, 111-114, (russisch).
- Koepf, H., 1992:** Soil fertility in sustainable low input farming. Michael Fields Agricultural Institute Bulletin No.3, 24 s.
- Konstantinov, P.N. 1923:** (Die Luzerne). Moskau, 72S., (russisch).
- Kovaljev, I.I. und V.I. Logoschin, 1991:** (Veränderungen der Bodenstruktur von Schwarzerden des Verwaltungsgebietes Voronesch unter dem Einfluß künstlicher Beregnung). In "Agrarökologische Probleme der Bodenfruchtbarkeit und des Bodenschutzes in der zentralrussischen Waldsteppe", Universität Woronesch, 32-39, (russisch).
- Kovdy, V.A. und B.G. Rozanova, 1988:** (Die Bodenkunde). Vyschaja Schkola Moskau, 368 S., (russisch).
- Kudejarov, V.N., 1989:** (Stickstoffkreislauf im Boden und die Effektivität von Düngern). Nauka, Moskau, 215 Seiten, (russisch).
- Kuleschov, N.N., 1938:** (Luzerne in Ostsibirien). Irkutsk, 46S., (russisch).
- Lapinskas, E.B., 1990:** (Der Einfluß von Rhizotorfin in Verbindung mit Bor- und Molybdändüngern auf den Ertrag und die Qualität von Klee und Luzerne). *Agrochimija*, 1, 82-87, (russisch).
- Lanyon, L.E. and F.W. Smith, 1985:** Potassium nutrition of alfalfa and other forage legumes: Temperate and Tropical. in: Munson R.D. (ed.): Potassium in Agriculture., Wisconsin.
- Lie, T.A., 1971:** Symbiotic Nitrogen Fixation Under Stress Condition. In: Lie, T.A. und E.G. Mulder: Biological Nitrogen Fixation in Natural and Agricultural Habitats. Plant and Soil, Special Volume, 117-127.
- Lim, G. und J.C. Burton, 1982:** Nodulation status of the leguminosae. In: Broughton, W.J.: Nitrogen Fixatio, Vol.2 Rhizobium. Clarendon Press, Oxford. 1-33.
- Lowendorf, H.S. und M. Alexander, 1983:** Selecting rhizobium meliloti for inoculation of alfalfa planted in acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47, 935-938.
- Mahler, R.L., 1981:** Implication of farmland in northern Idaho. Current Information Series No.629. University of Idaho.
- Mahler, R.L. und R.E. McDole, 1992:** The relationship of soil pH and crop yields in northern Idaho. Current Information Series No. 821.
- Mallarino, A.P. und W.F. Wedin, 1990:** Nitrogen fertilization effects on dinitrogen fixation as influenced by legume species and proportion in legume-grass mixtures in Uruguay. *Plant and Soil* 124, 127-135.
- Mansvelt, J.D.v., 1990:** UdSSR: Interesse an Öko-Landbau. *Ökologie und Landbau* 73, 11-12.
- Mansvelt, J.D.v., 1991:** Feasibility-Study (unveröffentl.)

- Melkumova, T.A., 1957:** (Besonderheiten verschiedener Stämme von Knöllchenbakterien, gewonnen aus verschiedenen Luzernesorten unter den Bedingungen der Aserbajdschianischen SSR). *Izvestija Akademii Nauk SSSR (Serija Biologitscheskaja)*, 5, 617-624, (russisch).
- Mengel, K., M.R. Haghparast und K. Koch, 1974:** The effect of potassium on the fixation of molecular nitrogen by root nodules of *Vicia faba*. *Plant Physiology* 54, 535-538.
- Mengel, K. und E.A. Kirkby 1987:** Principles of plant nutrition. Internat. Potash Institute, Bern.
- Miljkov, F.N., 1983:** Posejmje (russisch). Voronesch.
- Miller, D.A., 1992:** Allelopathy in alfalfa and other forage crops in the United States. In: Rizvi, S.J.H. und V. Rizvi (Hrsg.): Allelopathy: Basic and applied aspects. Chapman and Hall, London.
- Minejev, V.G., 1989:** (Praktikum der Agrochemie). Izdatelstvo Moskovskovo Universteta. 304 Seiten. (In Russisch).
- Muchina, M.A., Z.I. Schestiperova, 1978:** (Klee). 167 Seiten, (russisch).
- Mulder, E.G., T.A. Lie, K. Dilz und A. Houwers, 1966:** Effect of pH on symbiotic nitrogen fixation of some leguminous plants. In: Proceedings of the Ninth International Congress of Microbiology, Moscow, 131-151.
- Munns, D.N., 1968:** Nodulation of *Medicago sativa* in solution culture, II. Effects of nitrate on root hairs and infection. *Plant and Soil* XXIX, no.1, 33-40.
- Nelson, L.M. and S.A. Edie, 1991:** Nodule carbohydrate composition and nitrogen fixation in pea (*Pisum sativum* L.): Effect of *Rhizobium* strain and NH_4NO_3 . *Soil Biol. Biochem.* 23, 681-688.
- Novikov, J., 1990:** Die Sage von der Agrar-Industrialisierung). In: Rosenow, S., E. Nikulin: "Zemljedejatel 1991". Stiftung "Leben und Umwelt", Hude, 40-51, (russisch).
- Obaton, M., 1971:** Influence de la composition chimique du sol sur l'utilite de l'inoculation des graines de luzerne avec *Rhizobium meliloti*. In: Lie, T.A. und E.G. Mulder: Biological Nitrogen Fixation in Natural and Agricultural Habitats. *Plant and Soil*, Special Volume, 273-285.
- Oghoghorie, C.G.O. und J.S. Pate, 1971:** The Nitrate Stress Syndrome of the Nodulated Field Pea (*Pisum arvense*). In: Lie, T.A. und E.G. Mulder: Biological Nitrogen Fixation in Natural and Agricultural Habitats. *Plant and Soil*, Special Volume, 185-202.
- Oleszek, W., M. Jurzysta und P.M. Gorski, 1992:** Alfalfa saponins-the allelopathic agents. In: Rizvi, S.J.H. und V. Rizvi (Hrsg.): Allelopathy: Basic and applied aspects. Chapman and Hall, London.
- Othman, W. M. wan, T.A. Lie, L. t'Mannetje und G.Y. Wassink, 1991:** Low level phosphorus supply affecting nodulation, N_2 - Fixation and growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Plant and Soil* 135, 67-74.

- Patterson, N.A., I. Chet und Y. Kapulnik, 1990:** effect of mycorrhizal inoculation on nodule initiation, activity and contribution to legume productivity. *Symbiosis-Rehovot*. 8:1, 9-20.
- Penney, D.C., M. Nyborg, P.B. Hoyt, W.A. Rice, B. Siemens und D.H. Lavery, 1977:** An assessment of the soil acidity problem in Alberta and northeastern British Columbia. *Canadian Journal of Soil Science* 57, 157-164.
- Pereira, P.A.A. und F.A. Bliss, 1987:** Nitrogen fixation and growth of common bean at different levels of phosphorus availability. *Plant and Soil* 104, 79-84.
- Pijnenborg, J.W.M. und T.A. Lie und A.J.B. Zehnder, 1991:** Nodulation of lucerne (*Medicago sativa* L.) in an acid soil: Effects of inoculum size and lime-pelleting. *Plant and Soil* 131, 1-10.
- Pijnenborg, J.W.M. und T.A. Lie, 1990 a:** Effect of lime-pelleting on the nodulation of lucerne (*Medicago sativa* L.) in an acid soil: A comparative study carried out in the field, in pots and in rhizotrons. *Plant and Soil* 121, 225-234.
- Pijnenborg, J.W.M. und T.A. Lie, 1990 b:** Nitrogen fixation of lucerne in an acid soil: The use of rhizotrons as a model system to simulate field conditions. *Plant and Soil* 124, 245-249.
- Ponomareva, V.V. und T.A. Plotnikova, 1980:** (Humus und Bodenbildung). Leningrad, (russisch).
- Preuschen G. und K. Bernath, 1983:** Die Kunst der Gründüngung - Voraussetzung für Bodenfruchtbarkeit. Leopold Stocker Verlag, Graz, 164 Seiten.
- Pristas, J., 1990:** (Einfluß agrotechnischer Verfahren auf den Luzerneertrag). *Rostlinna výroba* 36, 873-879, (slowakisch).
- Provorov, N.A. und B.V. Simarov, 1990:** Genetic variation in alfalfa, sweat clover and fenugreek for the activity of symbiosis with *Rhizobium meliloti*. *Plant Breeding* 105, 300-310.
- Rechcigl, J.C., K.L. Edmisten, D.D. Wolf und R.B. Reneau, Jr., 1988:** Response of alfalfa grown on acid soil to different chemical amendments. *Agronomy Journal* 80, 515-518.
- Rechcigl, J.C., K.L. Edmisten, D.D. Wolf und R.B. Reneau, Jr., 1987:** Influence of calcium, nitrogen, and pH on alfalfa root growth and nitrogen fixation using the implanted soil mass technique. *Agronomy Journal* 79, 96-928.
- Rice, W.A., 1980:** Seasonal patterns of nitrogen fixation and dry matter production by clovers grown in the peace river region. *Can. J. Plant Sci.* 60, 847-858.
- Rice, W.A. und P.E. Olsen, 1988:** Soil inoculants for alfalfa grown on moderately acid soil. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 19, 947-956.
- Rice, W.A. und P.E. Olsen, 1983:** Inoculation of alfalfa seed for increased yield on moderately acid soil. *Canadian Journal of Soil Science* 63, 541-545.
- Rice, W.A., D.C. Penney und M. Nyborg, 1977:** Effects of soil acidity on rhizobia numbers, nodulation and nitrogen fixation by alfalfa and red clover. *Canadian Journal of Soil Science* 57, 197-203.

- Rippel 1993:** mdl. Mitteilung.
- Rodtschenko, O.P., 1961:** (Winterhärte von Klee und Luzerne im Gebiet Irkutsk). Irkutsk, 95 Seiten, (russisch).
- Rosas, S.B. und N.S. Correa, 1989:** Effects of parathion on nodulation and levels of phytohormones in alfalfa. *Phyton* Buenos Aires, 50: 141-146.
- Saposchnikov, P.M. 1990:** (Bodenphysikalische Parameter unter der verdichtenden Wirkung landwirtschaftlicher Maschinen). *Vesti S.Ch. Nauki*, 59-67, (russisch).
- Schapkin, A.S., 1990:** (Ökologisch wirksame landwirtschaftliche Systeme). In: Rosenow, S., E. Nikulin: "Zemljedjelstvo 1991". Stiftung "Leben und Umwelt", Hude, 52-59, (russisch).
- Scheffer, F., 1989:** Lehrbuch der Bodenkunde. Fischer-Verlag, Stuttgart, 12. Aufl.
- Schevtschenko, G.A., 1991:** (Über die Landressourcen und die Bodenfruchtbarkeit im Gebiet Kursk). In "Agrarökologische Probleme der Bodenfruchtbarkeit und des Bodenschutzes in der zentralrussischen Waldsteppe", Universität Woronesch, 10-14, (russisch).
- Schilnikov, I.A., A.V. Ivoilov, 1991:** (Der Einfluß von Kalkung und Mineraldüngern auf den Ertrag von Luzerne). *Agrochimija*, 1, 78-85 (russisch).
- Schlegel H.G., 1985:** Allgemeine Mikrobiologie. Thieme-Verlag, 6. Aufl.
- Schmidt, E.L. und F.M. Robert, 1985:** Recent advances in the ecology of Rhizobium. In: Evans, H.J., P.J. Bottomley und W.E. Newton (Hrsg.): Nitrogen Fixation Research Progress. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, 379-385.
- Schtscherbakov, A.P., G.A. Tschuan, J.A. Vinogradov, 1990:** (Stickstoff in modernen Agrarlandschaften der zentralrussischen Schwarzerdezone). *Agrochimija*, 11, 38-46, (russisch).
- Schulte, E., 1993:** Mündliche Mitteilung. Departement of Soils, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin.
- Schutschenko, A.A., 1991:** (Angepaßter Pflanzenbau). Verlag Stiintsa Tschinjo, 432 S., (russisch).
- Sidorov, M.I., V.A. Fjodorov, 1977:** (Fruchtfolgen im spezialisierten Landbau der zentralrussischen Schwarzerdezone). Woronesch, 86 Seiten, (russisch).
- Sinskaja, J.N., 1950:** (Die Luzerne). in: Flora der Kulturpflanzen der UdSSR, Bd. 13, Moskau, 7-344, (russisch).
- Smurygin, M.A., 1982:** (Zustand und Perspektiven des Kleeanbaus im Land). Züchtung und Saatgutvermehrung des Klees 27: 3-21, (russisch).
- Soon, Y.K., 1988:** Interactions between Calcium amendments and phosphate on the response of alfalfa and barley growing on acid soils. *Commun. in Soil Sci. Plant nat.* 19 (7-12), 1343-1353.
- Sprent, J.I., 1971:** Effects of water stress on nitrogen fixation in root nodules. *Plant and Soil*, Special Volume, 225-228.
- Starova, N., 1991:** (Auf der Erde "Aidaks"). In: Breschnjev, V.V. (Hrsg.), Ökologische Mitteilungen des ländlichen Raumes, 1/91). Tula, Priok. Kn. Izd., 144-147, (russisch).

- Suchareva, V.N., M.I. Fjodotova, I.P. Kuraj, 1987a:** (Methodenvergleich zur Bestimmung pflanzenverfügbaren Phosphors und Kaliums in Böden. I. Vergleich der Methoden zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphors). *Agrochimija*, 3: 130-136, (russisch).
- Suchareva, V.N., M.I. Fjodotova, I.P. Kuraj, 1987b:** (Methodenvergleich zur Bestimmung pflanzenverfügbaren Phosphors und Kaliums in Böden. I. Vergleich der Methoden zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Kaliums). *Agrochimija*, 3: 138-144, (russisch).
- Syrin, N.G. und G.D. Belitsyna, 1981:** (Mikroelemente in den Böden der UdSSR). MGU, Moskau, 250 Seiten, (russisch).
- Taranets, M.P., 1950:** (Winterhärte mehrjähriger Leguminosen in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium). *Trudy IFR*, Bd.VII, (russisch).
- Thies, J.E., P.W. Singleton und B.B. Bohloul, 1991:** Influence of the size of indigenous rhizobial populations on establishment and symbiotic performance of introduced Rhizobia on field-grown legumes. *Applied and Environmental Microbiology*, Jan.1991, 19-28.
- Trepatschev, E.P., A.D. Tschovschik, Z.K. Spivak, 1980:** (Untersuchungen über die Wirkung gesteigerter Mineraldüngergaben auf die Produktivität mehrjähriger Futtergemenge und die Folgekulturen auf Parabraunerden). *Agrochimija*, 10, 72-82, (russisch).
- Trepatschev, E.P., B.F. Azarov, 1989:** (Das biologische Potential verschiedener mehrjähriger Futterleguminosen nach ihrer Stickstofffixierungsfähigkeit und der Beitrag von organischem Material für die Fruchtbarkeit typischer Schwarzerden). *Sel'skchozjaistvennaja Biologija*, 3, 25-34, (russisch).
- Trepatschev, E.P., B.F. Azarov, 1991:** (Der Einfluß der Phosphatversorgung eines typischen Schwarzerde der zentralrussischen Schwarzerdezone und von Mineraldüngern auf die Erträge mehrjähriger Futtergemenge und Winterweizen). *Agrochimija*, 10, 39-49, (russisch).
- Trepatschev, E.P., M.S. Jagodina, 1985:** (Die Phosphatversorgung der Böden und das Stickstofffixierungsvermögen der Luzerne). *Izvestija AN SSSR (Serija Biol.)*, 1, 96-104, (russisch).
- Trepatschev, E.P., M.S. Jagodina, B.F. Azarov, 1991:** (Organisches Material und der Stickstoff von Leguminosen im Landbau des Zentralrussischen Schwarzerdegebietes: Beitrag zur Bodenfruchtbarkeit und der Stickstoffdüngerbedarf der Folgekulturen). *Sel'skchozjaistvennaja Biologija*, 5, 16-29, (russisch).
- Trinick, M.J., 1982:** Biology. In: Broughton, W.J.: Nitrogen Fixatio, Vol.2 Rhizobium. Clarendon Press, Oxford. 76-145.
- Trischkin, S. und T. Trischkina, (1976):** (Kalkung und Erträge von Luzernesamen). *Izvestkovanije i urozhai semjan ljutserny*, (russisch).
- Tselma, I.K., 1985:** (Klee und Luzerne in Lettland). *Kormoproizvodstvo*, 4, 24-25, (russisch).
- Tselma, I.K., 1989,** (Grundlegende Zeigerwerte für die Optimierung des Anbaus von Rotklee und Luzerne auf Parabraunerden). In "Intensivierung des Anbaus von Feldfutterfrüchten", Riga, 5-23, (russisch).

- Uskov, B.V., B.V. Torba und B.V. Dschegeris 1991:** (Die Auswirkungen technogener Eingriffe auf die grundlegenden Parameter der fruchtbaren Bodenschichten). In "Agrarökologische Probleme der Bodenfruchtbarkeit und des Bodenschutzes in der zentralrussischen Waldsteppe", Universität Woronesch, 112-121, (russisch).
- Vance, C.P., G.H. Heichel, D.K. Barnes, J.W. Bryan und L.E. Johnson, 1979:** Nitrogen fixation, nodule development, and vegetative regrowth of alfalfa following harvest. *Plant Physiology* 64, 1-8.
- VASChNIL, Altagro, 1991:** (Konzeption für die Schaffung landwirtschaftlicher, ökologisch und ökonomisch effektiver Produktionssysteme zur Produktion ökologisch unbedenklicher Nahrungsmittel), Moskau, 154 Seiten, (russisch).
- Vasjuk, L.F., 1978:** (Arten- und Sortenspezifität von Luzerne in Bezug zu *Rhizobium meliloti*-Stämmen). *Trudy VNII Seljskochozjajstvennoj Mikrobiologij* 47, 53-62 (russisch).
- Vasjuk, L.F., B.V. Tschenzov und I.B. Ivanova, 1976:** (Über Fragen der Dissoziierung bei *Rhizobium meliloti*). In: Anonym (Hrsg.): (Fragen der Ökologie und Physiologie landwirtschaftlich nutzbarer Mikroorganismen). Leningrad, 87-93, (russisch).
- Vasjuk, L.F., I.B. Ivanova und S.B. Tarabajeva, 1976:** (Effektivität und Dehydrogenasenaktivität von Knöllchenbakterien an Luzerne, angebaut in verschiedenen Boden- und Klimazonen). In: Anonym (Hrsg.): (Fragen der Ökologie und Physiologie landwirtschaftlich nutzbarer Mikroorganismen). Leningrad. 79-86, (russisch).
- Vavilov, P.P., 1986:** (Pflanzenbau). Kolos, Moskau, 5. Aufl. (russisch).
- Vavilov, P.P., G.S. Posypanov, 1983:** (Leguminosen und das Problem des pflanzlichen Eiweißes). Rosselchosizdat, Moskau, 256 Seiten, (russisch).
- Vereschtschak, M.V., 1992:** (Ökologischer Landbau? Ja!). In: Breschnjev, V.V. (Hrsg.): *Ökologische Mitteilungen des ländlichen Raumes*, 3/92). Orel, "Prostor", 22-32, (russisch).
- Vernitschenko, L.J., E.N. Mischustin, 1989:** (Die Aneignung von molekularem und mineralischem Stickstoff durch Leguminosen in Abhängigkeit von den Bodenbedingungen). *Izvestija AN SSSR, (Serija Biol.)*, 4, 588-597, (russisch).
- Vezina, L.P. und P. Nadeau, 1991:** The combined effects of rhizobial nodulation and nitrogen fertilization on growth and cold acclimation of alfalfa. *Annals of Botany* 68, 359-363.
- Viands, D.R., C.P. Vance, G.H. Heichel and D.K. Barnes, 1979:** An ineffective nitrogen fixation trait in alfalfa. *Crop Sci.* 1, 905-908.
- Vincent, J.M., 1970:** A manual for the practical study of root-nodule bacteria. IBP Handbook No. 15. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Vivekanandan, M., J.R. Brown, J. Williams, T. Clevenger, R. Belyea and M.E. Tumbleson, 1991:** Tolerance of forage legumes to lime-stabilized sludge. *Commun. in Soil Sci. Plant Anal.* 22 (5-6), 449-463.
- Wendell, A., Rice und P.E. Olsen, 1992:** Effects of inoculation method and size of *rhizobium meliloti* population in the soil on nodulation of alfalfa. *Can. J. Soil Sci.* 72, 57-67.

Wheeler, W.L., 1950: Forage and Pasture Crops. Publisher van Nostrand, New York, 752
Seiten.

Winarno, R. und T.A. Lie, 1979: Competition between rhizobium strains in nodule formation:
Interaction between nodulating and non-nodulating strains. Plant and Soil 51, 135-142.

Zacharenko, A.V., 1993: Abt.-Leiter für Fragen des chem. Pflanzenschutzes an der Russischen
Akademie der Landwirtschaftswissenschaften. Mündl. Mitteilung.

Zonschtein, L.J., 1949: (Klee und seine Gemenge mit Luzerne auf beregneten Greyzems). 68
Seiten, (russisch).

Dank

Herr Professor Dr. W. Zech gab mir die Möglichkeit, selbstständig in einem Land die Diplomarbeit durchzuführen, das zwar über eine große bodenkundliche Tradition verfügt, für westliche Wissenschaftler dennoch relativ unbekannt ist. Für diese Möglichkeit, die wichtigen fachlichen Hilfestellungen und sein persönliches Interesse an Rußland möchte ich mich sehr herzlich bedanken.

Ebenso gilt mein Dank den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Lehrstuhls, von denen ich zu jeder Zeit sowohl fachliche als auch menschliche Unterstützung erhalten habe.

Meinem Freund Dr. Walter Goldstein danke ich nicht nur für die Idee zu dieser Arbeit und die vielen fachlichen Ratschläge, sondern auch für die vielen schönen gemeinsamen Tage, die ich mit ihm in Rußland verbringen durfte.

Herrn Prof. Dr. Ulrich Köpke und seinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern von der Professur für Organischen Landbau in Bonn möchte ich für die fachliche Unterstützung und ihr persönliches Engagement danken. Dabei möchte ich besonders Stefan Dresman und seine Wohngemeinschaft erwähnen.

Nicht in dieser Form durchzuführen gewesen wäre diese Arbeit ohne den unermüdlichen Einsatz und die hilfreichen Anregungen meines Freundes Dr. Vselovot Gusev. Dafür möchte ich ihm herzlich danken.

Für die zahlreichen Ratschläge und logistischen Hilfestellungen bei der Durchführung der Arbeit möchte ich mich bei dem Verband für Ökologischen Landbau in der Russischen Föderation, insbesondere Herrn Dr. Alexander Schapkin und Herrn Dr. Michael Vereschak, bedanken.

Für die Hilfe im Gebiet Kursk danke ich Dr. Stanislav Schulga sowie den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Labors in Lgov, insbesondere Grigorij und Marina.

Nicht zuletzt gilt mein herzlichster Dank den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Kolchozes "40 Jahre Oktober", dem Vorsitzenden Dr. Michael Schirkov, dem Agronomen Sascha Rubekin und meiner lieben Babuschka, die mir auf der russischen Schwarzerde ein warmes Zuhause gab.

Schließlich war die Arbeit erst ermöglicht worden durch die Finanzierung der Eden-Stiftung, die sich seit langem engagiert für die Belange des ökologischen Landbaus einsetzt. Auf diesem Wege möchte ich mich bei der Stiftung sehr herzlich bedanken.

.... und allen lieben Freunden, die mir geholfen haben.

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---------|---|----|
| Abb. 1 | Geographische Lage des Untersuchungsgebietes | 18 |
| Abb. 2 | pH-Werte der untersuchten Böden | 41 |
| Abb. 3 | P-Versorgung der untersuchten Böden | 44 |
| Abb. 4 | Heterogenität des Versuchsfeldes bezüglich der P ₂ O ₅ -Versorgung | 45 |
| Abb. 5 | K-Versorgung der untersuchten Böden | 46 |
| Abb. 6 | Gemessene Nährelementgehalte und empfohlene Richtwerte von Luzerne und Rotklee im Versuchsteil A | 49 |
| Abb. 7 | Kalium-/ Magnesiumantagonismus bei Luzerne | 51 |
| Abb. 8 | Heterogenität der Wüchsigkeit von Luzerne im Mai und Juli 1992 (Versuchsteil B) | 53 |
| Abb. 9 | Gemessene Nährelementgehalte und empfohlene Richtwerte von Luzerne und Rotklee im Versuchsteil B | 54 |
| Abb. 10 | Trockenmasse-Erträge von Luzerne, Rotklee, Gräsern und Beikräutern für ausgewählte Probeflächen im Versuchsteil A | 56 |
| Abb. 11 | Bonitierter Knöllchenbesatz von Luzerne und Rotklee nach Feldern (Versuchsteil A) | 58 |
| Abb. 12 | Mittlere Anzahl aktiver Knöllchen für die drei Beprobungstermine im Versuchsteil B (Herbst 1991, Mai 1992, Juli 1992) | 58 |
| Abb. 13 | Mittlere Anzahl der Knöllchen an Luzerne nach verschiedenen Impfungen mit <i>Rhizobium meliloti</i> - Präparaten | 60 |
| Abb. 14 | Zusammenhang zwischen Knöllchenbesatz und P-Versorgung im Boden | 62 |
| Abb. 15 | Mittlere Anzahl der Knöllchen an Luzerne für verschiedene P-Versorgungsklassen | 63 |

Tabellenverzeichnis:

| | | |
|-------------|---|----|
| Tabelle 1: | Beschreibung des Leitprofils | 22 |
| Tabelle 2: | Beschreibung der Felder und Teilflächen | 24 |
| Tabelle 3: | Bewertungsskala für Quantitativen Knöllchenbesatz | 31 |
| Tabelle 4: | Bewertungsskala für die Aktivität der Knöllchen | 31 |
| Tabelle 5: | Bewertungsskala für die Größe der Knöllchen | 31 |
| Tabelle 6: | Beschreibung des Leitprofils | 36 |
| Tabelle 7a: | Bodenchemische Parameter des Leitprofils: Gesamt-N- und Humusgehalt, pH und Belegung des Sorptionskomplexes | 36 |
| Tabelle 7b: | Bodenchemische Parameter des Leitprofils: Sesquioxide und Silikat (Gesamtgehalte) | 37 |
| Tabelle 7c: | Bodenchemische Parameter des Leitprofils: Pflanzennährstoffe (Gesamtgehalte) | |
| Tabelle 8: | Textur des Feinbodens | 38 |

Anhang 1: Termine der Probennahme, Art, Methoden und Ort der Untersuchungen für Versuchsteil A:

| Datum | Untersuchung | Methode | Ort |
|-----------|---|---------------------------|---------------|
| 7.- 11.6. | Ernte | 1 m ² , Sichel | Feld |
| 7.- 11.6. | Sortieren, TM-Best. | Handarb, Tr-schrank | Lgov |
| 13.-20.6. | Knöllchenbonitur | Skala 0-5 (s. Met) | Feld/B.Ugony |
| 13.-20.6. | Probennahme (Bodchem) | Bohrstock | Feld |
| 13.-20.6. | Probennahme (Bophy) | lose | Feld |
| 13.-20.6. | Nmin-Best. | Lgovskij | Lgov |
| 13.-20.6. | Lagerungsdichte | Stechzylinder | Feld |
| W 91/92 | pH | 1M KCl | VIUA |
| W 91/92 | P2O ₅ pfl.verf. | Tschirikov | VIUA |
| W 91/92 | K ₂ O, pfl.verf./austauschb. | Tschirikov | VIUA |
| W 91/92 | NH ₄ ⁺ | Indophenol-Blau | VIUA |
| W 91/92 | NO ₃ ⁻ | Griss | VIUA |
| W 91/92 | Basenneutral.-kapazität | Hydr.Kislotnost | VIUA |
| W 91/92 | aust. Ca ²⁺ | Trilonometrisch | VIUA |
| W 91/92 | aust. Mg ²⁺ | Trilonometrisch | VIUA |
| W 91/92 | Aggreg.größen | Katschinskij | MGU Moskau |
| W 91/92 | Aggreg.stabilität | Savvinov | MGU |
| W 91/92 | % N (Luzerne) | kolor. (GOST 13496.4-84) | Nemtschinovka |
| W 91/92 | % P (Luzerne) | kolor. (GOST 26657-85) | Nemtschinovka |
| W 91/92 | % K (Luzerne) | Flammenphotometer | Nemtschinovka |
| W 91/92 | % Ca (Luzerne) | | Nemtschinovka |
| W 91/92 | % Mg (Luzerne) | | Nemtschinovka |

Anhang 2: Probennahmetermine, durchgeführte Untersuchungen und Ort der durchgeführten Analysen im Versuchsteil B:

Herbst 1991

| Datum | Untersuchung | Methode | Ort |
|-------------|---|---------------------|-------------|
| 1.-6.10. | Knöllchenzahl | Zählen | Feld |
| 1.-6.10. | Probennahme f.bo-ch | Bohrstock | Feld |
| Winter91/92 | C org | Tjuren | VIUA Moskau |
| W 91/92 | pH | 1M KCl | VIUA |
| W 91/92 | P ₂ O ₅ pfl.verf. | Tschirikov | VIUA |
| W 91/92 | K ₂ O, austauschb. | Tschirikov | VIUA |
| W 91/92 | NH ₄ ⁺ | Indophenol-Blau | VIUA |
| W 91/92 | NO ₃ ⁻ | Griss | VIUA |
| W 91/92 | Basenneutral.-kapazität | hydrolyt.Kislotnost | VIUA |
| W 91/92 | aust. Ca ²⁺ | trilonometrisch | VIUA |
| W 91/92 | aust. Mg ²⁺ | trilonometrisch | VIUA |
| W 91/92 | Aggreg.größen | Katschinskij | MGU Moskau |
| W 91/92 | Aggreg.stabilität | Savvinov | MGU |

Mai 1992

| Datum | Untersuchung | Methode | Ort |
|-------------|-----------------------|--------------------------------|----------|
| 19.-21.5. | Knöllchenzahl | Zählen | Feld |
| 19.-21.5. | Probennahme f.bochem. | lose | Feld |
| 19.-21.5. | Ernte I (Luzerne) | 15x15 cm ² , Messer | Feld |
| Winter92/93 | Nitrat-N (Boden) | potentiometrisch | Baribino |

| | | | |
|----------|---------------------------|-------------------|----------|
| W 92/93 | pfl.verf. P2O5 | Tschirikov | Baribino |
| W 92/93 | austauschb/pfl.verf. K2O5 | Tschirikov | Baribino |
| W 92/93 | pH | 1M KCl | Baribino |
| W 92/93 | pfl.verf. Mo | Grigg | Baribino |
| Mai/Juni | TM-Ertrag (Luzerne) | luftgetrocknet | B.Ugony |
| W 92/93 | % N (Luzerne I) | Kjeldahl | Baribino |
| W 92/93 | % P (Luzerne I) | Denisch | Baribino |
| W 92/93 | % K (Luzerne I) | Flammenphotometer | Baribino |

Juli/ August 1992

| Datum | Untersuchung | Methode | Ort |
|-------------|-----------------------|-------------------|----------|
| 5./6.7. | Ernte II (Luzerne) | 0,5 m2, Sichel | Feld |
| Juli | TM-Ertrag (Luzerne) | luftgetrocknet | B.Ugony |
| 25.-27.7. | Knöllchenzahl | Zählen | Feld |
| 24.7. | Lagerungsdichte | Stechzylinder | Feld |
| 25.-27.7. | Probennahme (Bochem.) | lose | Feld |
| 20./21.8. | Ernte III (Luzerne) | Sichel | Feld |
| Winter92/93 | pH (Boden) | 1M KCl | Baribino |
| W 92/93 | pH (Boden) | 0,01M CaCl2 | Baribino |
| W 92/93 | Nitrat-N (boden) | potentiometrisch | Baribino |
| W 92/93 | pfl.verf. P2O5 | Tschirikov | Baribino |
| W 92/93 | austauschb.K2O | Tschirikov | Baribino |
| W 92/93 | pfl.verf. Mo | Grigg | Baribino |
| W 92/93 | % N (Luzerne II) | Kjeldahl | Baribino |
| W 92/93 | % P (Luzerne II) | Denisch | Baribino |
| W 92/93 | % K (Luzerne II) | Flammenphotometer | Baribino |
| W 92/93 | % N (Luzerne III) | Kjeldahl | Baribino |
| W 92/93 | % P (Luzerne III) | Denisch | Baribino |
| W 92/93 | % K (Luzerne III) | Flammenphotometer | Baribino |

Anhang 3, Gemessene Werte aus Versuchsteil A:

| Nr | LN | LP | LK | LCa | LMg | TML | KnL | KN | KP | KK | KCa | KMg | TMK | KnK | TMtot |
|-----|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|-------|
| | %N | %P | %K | %Ca | %Mg | g/m2 | n | %N | %P | %K | %Ca | %Mg | g/m2 | n | g/m2 |
| 510 | 3.15 | 0.30 | 1.48 | 1.41 | 0.34 | 99 | nb | nb | nb | nb | nb | nb | 0 | nb | 169 |
| 520 | 3.05 | 0.32 | 1.76 | 1.28 | 0.26 | 131 | 37 | nb | nb | nb | nb | nb | 0 | nb | 416 |
| 521 | 2.89 | 0.30 | 1.95 | 1.29 | 0.23 | 220 | 63 | nb | nb | nb | nb | nb | 0 | nb | 396 |
| 530 | 2.70 | 0.32 | 2.48 | 1.19 | 0.23 | 7 | 26 | nb | nb | nb | nb | nb | 0 | nb | 294 |
| 540 | 3.01 | 0.29 | 1.20 | 1.41 | 0.32 | 111 | nb | nb | nb | nb | nb | nb | 2 | nb | 208 |
| 550 | 2.81 | 0.27 | 1.20 | 1.46 | 0.37 | 21 | 32 | nb | nb | nb | nb | nb | 2 | nb | 161 |
| 560 | 2.27 | 0.30 | 2.78 | 1.13 | 0.24 | 148 | nb | nb | nb | nb | nb | nb | 1 | nb | 361 |
| 570 | 3.24 | 0.32 | 2.50 | 1.25 | 0.23 | 167 | 52 | nb | nb | nb | nb | nb | 4 | nb | 224 |
| 571 | 2.54 | 0.29 | 2.20 | 1.28 | 0.22 | 159 | 52 | nb | nb | nb | nb | nb | 4 | nb | 266 |
| 580 | nb | nb | nb | nb | nb | 178 | 72 | nb | nb | nb | nb | nb | 0 | nb | 354 |
| 610 | 3.15 | 0.33 | 1.41 | 1.42 | 0.31 | 264 | 46 | 3.50 | 0.31 | 1.39 | 1.45 | 0.51 | 55 | 44 | 330 |
| 620 | 3.04 | 0.34 | 1.55 | 1.40 | 0.28 | 322 | 31 | 2.56 | 0.33 | 1.96 | 1.28 | 0.38 | 105 | 41 | 456 |
| 630 | 3.19 | 0.31 | 1.39 | 1.38 | 0.36 | 270 | 39 | 3.11 | 0.28 | 1.49 | 1.28 | 0.47 | 123 | 60 | 417 |
| 110 | 3.28 | 0.31 | 1.83 | 1.47 | 0.33 | 2 | 2 | nb | nb | nb | nb | nb | 0 | 37 | 387 |
| 120 | 3.42 | 0.30 | 1.55 | 1.31 | 0.30 | 16 | 0 | 2.66 | 0.25 | 2.53 | nb | nb | 1 | nb | 549 |
| 130 | nb | nb | nb | nb | nb | 144 | 4 | nb | nb | nb | nb | nb | 0 | 48 | 322 |
| 140 | 3.01 | 0.26 | 1.92 | 1.36 | 0.29 | 4 | 0 | 2.85 | 0.19 | 2.98 | 1.20 | 0.36 | 164 | 63 | 248 |
| 150 | 3.08 | 0.29 | 2.00 | 1.32 | 0.29 | 175 | 24 | nb | nb | nb | nb | nb | 4 | nb | 436 |
| 710 | 3.11 | 0.28 | 1.22 | 1.35 | 0.33 | 130 | 2 | 3.35 | 0.26 | 1.21 | 1.39 | 0.42 | 92 | 18 | 373 |
| 720 | 3.06 | 0.28 | 1.42 | 1.37 | 0.33 | 236 | 3 | 3.04 | 0.26 | 1.56 | 1.32 | 0.47 | 71 | 53 | 400 |
| 730 | 2.78 | 0.24 | 1.37 | 1.37 | 0.30 | 330 | 8 | nb | nb | nb | nb | nb | 0 | 36 | 365 |
| 740 | 3.34 | 0.30 | 1.35 | 1.30 | 0.35 | 100 | 10 | 2.79 | 0.29 | 1.38 | 1.33 | 0.49 | 30 | 52 | 252 |
| 750 | 2.78 | 0.21 | 1.42 | 1.32 | 0.29 | 309 | 4 | 2.27 | 0.20 | 1.78 | 1.19 | 0.34 | 76 | 32 | 464 |

Gemessene Werte aus Versuchsteil A (Fortsetzung)

| Nr | GN | GP | GK | GCa | GMg | TMG | TMges |
|-----|------|------|------|------|------|------------------|------------------|
| | %N | %P | %K | %Ca | %Mg | g/m ² | g/m ² |
| 510 | 2.20 | 0.30 | 2.25 | 0.44 | 0.15 | 6 | 169 |
| 520 | nb | nb | nb | nb | nb | 5 | 416 |
| 521 | nb | nb | nb | nb | nb | 5 | 396 |
| 530 | nb | nb | nb | nb | nb | 5 | 294 |
| 540 | 1.79 | 0.38 | 3.02 | 0.42 | 0.21 | 25 | 208 |
| 550 | 1.71 | 0.33 | 2.50 | 0.39 | 0.18 | 8 | 161 |
| 560 | 1.45 | 0.28 | 2.32 | 0.37 | 0.14 | 51 | 361 |
| 570 | 1.93 | 0.38 | 3.29 | 0.44 | 0.20 | 16 | 224 |
| 571 | nb | nb | nb | nb | nb | 51 | 266 |
| 580 | 2.31 | 0.40 | 4.24 | 0.35 | 0.17 | 50 | 354 |
| 610 | 1.50 | 0.37 | 2.48 | 0.84 | 0.16 | 5 | 330 |
| 620 | 1.46 | 0.23 | 1.76 | 0.59 | 0.10 | 5 | 456 |
| 630 | 2.15 | 0.24 | 2.03 | 0.38 | 0.14 | 60 | 417 |
| 110 | 2.40 | 0.31 | 3.18 | 0.51 | 0.16 | 368 | 387 |
| 120 | 2.56 | 0.26 | 3.01 | 0.49 | 0.15 | 529 | 549 |
| 130 | 1.91 | 0.21 | 2.17 | 0.44 | 0.13 | 160 | 322 |
| 140 | 2.20 | 0.28 | 3.04 | 0.46 | 0.12 | 71 | 248 |
| 150 | 1.65 | 0.23 | 2.71 | 0.55 | 0.14 | 247 | 436 |
| 710 | 1.94 | 0.25 | 1.52 | 0.46 | 0.15 | 135 | 373 |
| 720 | 1.95 | 0.27 | 2.17 | 0.38 | 0.13 | 28 | 400 |
| 730 | nb | nb | nb | nb | nb | 7 | 365 |
| 740 | 1.71 | 0.31 | 2.00 | 0.36 | 0.15 | 17 | 252 |
| 750 | 1.77 | 0.18 | 2.39 | 0.49 | 0.14 | 29 | 464 |

Gemessene Werte aus Versuchsteil A: (Fortsetzung)

| Nr | BNO3 mgNO3/ kg | BNH4 mgNH4/ kg | BP 100g | BK 100g | BNK mval/ 100g | BCa mval/ 100g | BMg mval/ 100g | pH 1MKCl | Agst10 % | Agst05 % | Agst025Nlgo rel. | BLd g/cm3 | Ct % |
|-----|----------------------|----------------------|------------|------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|--------------|---------|
| 510 | 0.6 | 5.4 | 8.1 | 5.9 | 2.7 | 18.5 | 3.4 | 5.59 | 6.5 | 15.4 | 25.5 | -1 | -1 |
| 520 | 1.5 | 4.7 | 12.6 | 6.1 | 3.2 | 18.5 | 3.0 | 5.59 | 2.3 | 8.3 | 17.2 | 1.25 | -1 |
| 521 | 0.9 | 6.1 | 17.0 | 7.6 | 3.5 | 15.0 | 2.6 | 5.34 | 2.8 | 9.3 | 20.0 | 1.23 | -1 |
| 530 | 0.9 | 6.2 | 10.8 | 7.2 | 4.5 | 15.5 | 3.2 | 5.03 | 2.2 | 9.8 | 21.6 | 1.21 | 2.98 |
| 540 | 0.4 | 3.8 | 11.0 | 4.6 | 3.6 | 19.5 | 3.4 | 5.18 | 1.8 | 7.9 | 14.0 | 1.19 | 2.73 |
| 550 | 0.4 | 3.1 | 10.1 | 4.4 | 2.6 | 17.5 | 3.0 | 5.32 | 0.8 | 4.4 | 15.2 | 1.17 | -1 |
| 560 | 2.1 | 8.2 | 10.8 | 7.2 | 2.4 | 19.0 | 3.0 | 5.61 | 1.5 | 5.7 | 12.8 | 1.19 | -1 |
| 570 | 0.0 | 12.1 | 19.7 | 9.5 | 4.5 | 15.0 | 3.0 | 5.05 | 1.4 | 5.4 | 12.0 | 1.20 | -1 |
| 571 | 1.2 | 5.8 | 15.7 | 6.8 | 4.4 | 19.0 | 2.8 | 5.31 | 2.2 | 8.7 | 17.6 | 1.26 | -1 |
| 580 | 3.0 | 4.5 | 24.4 | 16.1 | 2.3 | 17.5 | 3.8 | 5.70 | 2.2 | 12.3 | 19.8 | 1.20 | -1 |
| 610 | 1.1 | 3.7 | 10.6 | 5.0 | 3.8 | 19.0 | 3.2 | 5.49 | 3.1 | 8.9 | 20.9 | 1.36 | 2.92 |
| 620 | 1.4 | 4.3 | 10.6 | 5.6 | 1.8 | 19.5 | 3.0 | 5.87 | 2.1 | 7.4 | 17.5 | 1.36 | 2.61 |
| 630 | 1.8 | 4.3 | 8.1 | 5.4 | 3.5 | 18.3 | 3.2 | 5.21 | 3.0 | 8.0 | 16.5 | 1.34 | -1 |
| 110 | 0.3 | 3.0 | 8.1 | 6.1 | 3.0 | 16.5 | 3.2 | 5.34 | 1.2 | 3.7 | 11.6 | 1.31 | 2.63 |
| 120 | 2.0 | 6.1 | 7.1 | 5.5 | 3.1 | 17.0 | 3.2 | 5.36 | 2.1 | 4.5 | 11.6 | 1.27 | -1 |
| 130 | 0.6 | 3.6 | 7.0 | 8.0 | 2.9 | 17.5 | 3.0 | 5.51 | 2.0 | 7.7 | 17.9 | 1.32 | -1 |
| 140 | 0.5 | 5.6 | 6.6 | 11.7 | 2.7 | 17.5 | 3.2 | 5.60 | 3.4 | 9.2 | 16.8 | 1.33 | -1 |
| 150 | 1.8 | 4.1 | 7.6 | 6.9 | 0.0 | 16.0 | 2.6 | 6.20 | 4.1 | 9.1 | 15.0 | 1.32 | -1 |
| 710 | 4.5 | 4.1 | 7.5 | 5.4 | 1.0 | 21.0 | 2.8 | 6.50 | 5.8 | 11.3 | 21.4 | -1 | 2.92 |
| 720 | 11.5 | 1.9 | 7.1 | 6.0 | 2.3 | 17.5 | 2.2 | 5.75 | 2.8 | 8.8 | 17.6 | 1.28 | -1 |
| 730 | 3.2 | 3.9 | 6.7 | 5.9 | 1.7 | 15.0 | 2.8 | 5.86 | 3.0 | 8.1 | 15.4 | 1.35 | 2.56 |
| 740 | 0.9 | 4.9 | 7.3 | 5.9 | 2.5 | 14.0 | 2.2 | 5.53 | 5.4 | 11.9 | 20.9 | 1.39 | -1 |
| 750 | 2.2 | 8.0 | 8.0 | 5.1 | 0.0 | 17.0 | 2.8 | 6.43 | 3.5 | 9.1 | 17.1 | 1.45 | -1 |

Anhang 4, gemessene Werte aus Versuchsteil B, Herbst 1991

| Nr | Var | Kn | pH | BNK mval/ 100g | BoCa mval/ 100g | BoMg mval/ 100g | NO3 mg/ kg | NH4 mg/ kg | BoP mgP2O5 100g | BoK mgK2O/ 100g | Agst5 % |
|----|-----|-----|------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
| 1 | 1 | 32 | 6.12 | 0.0 | 19.5 | 2.0 | 1.9 | 1.3 | 7.9 | 6.2 | 20.8 |
| 2 | 1 | 41 | 5.29 | 3.6 | 17.5 | 2.8 | 1.2 | 1.4 | 7.8 | 6.1 | 25.2 |
| 3 | 1 | 82 | 6.03 | 0.0 | 14.5 | 2.0 | 1.7 | 1.2 | 8.1 | 6.2 | 7.9 |
| 4 | 1 | 93 | 5.90 | 2.1 | 15.0 | 2.2 | 2.2 | 1.4 | 7.3 | 6.3 | 9.7 |
| 5 | 1 | 137 | 5.12 | 4.4 | 17.5 | 2.8 | 3.0 | 1.0 | 8.6 | 4.9 | 12.0 |
| 6 | 1 | 142 | 5.88 | 1.8 | 15.0 | 2.2 | 2.3 | 1.2 | 9.0 | 6.1 | 7.6 |
| 7 | 2 | 37 | 5.45 | 2.9 | 14.5 | 2.0 | 1.2 | 0.8 | 7.0 | 5.6 | 22.9 |
| 8 | 2 | 45 | 5.22 | 3.2 | 15.5 | 2.0 | 1.8 | 0.8 | 7.2 | 5.7 | 20.1 |
| 9 | 2 | 87 | 5.92 | 2.0 | 17.0 | 2.0 | 2.1 | 0.7 | 7.1 | 5.8 | 11.2 |
| 10 | 2 | 108 | 5.70 | 2.6 | 12.5 | 2.2 | 1.7 | 0.8 | 11.7 | 9.2 | 32.6 |
| 11 | 2 | 142 | 5.49 | 2.8 | 15.5 | 2.0 | 2.4 | 1.0 | 7.0 | 5.8 | 12.5 |
| 12 | 2 | 151 | 5.96 | 2.0 | 14.0 | 2.0 | 2.5 | 0.7 | 9.8 | 6.9 | 9.0 |
| 13 | 3 | 32 | 6.02 | 0.0 | 19.0 | 2.0 | 2.2 | 0.8 | 7.5 | 5.6 | 8.4 |
| 14 | 3 | 52 | 6.08 | 0.0 | 12.5 | 1.8 | 2.0 | 0.6 | 7.8 | 6.8 | 13.8 |
| 15 | 3 | 48 | 6.23 | 0.0 | 20.5 | 2.2 | 3.5 | 1.1 | 7.5 | 5.6 | 6.8 |
| 16 | 3 | 93 | 6.13 | 0.0 | 15.0 | 2.0 | 2.2 | 1.0 | 8.5 | 6.7 | 7.6 |
| 17 | 5 | 31 | 6.12 | 0.0 | 12.0 | 1.8 | 3.6 | 1.0 | 7.5 | 6.5 | 9.9 |
| 18 | 5 | 35 | 6.12 | 0.0 | 17.5 | 2.0 | 2.7 | 0.6 | 7.4 | 6.0 | 12.6 |
| 19 | 5 | 76 | 6.72 | 0.0 | 15.0 | 1.6 | 3.4 | 1.4 | 7.4 | 6.2 | 11.6 |
| 20 | 5 | 97 | 6.04 | 0.0 | 15.5 | 2.2 | 2.1 | 2.4 | 9.4 | 8.7 | 12.4 |
| 21 | 6 | 46 | 6.40 | 0.0 | 15.0 | 1.8 | 1.9 | 1.1 | 7.2 | 6.3 | 12.1 |
| 22 | 6 | 59 | 5.91 | 1.9 | 12.5 | 2.0 | 2.3 | 0.6 | 7.8 | 5.9 | 11.1 |
| 23 | 7 | 28 | 5.55 | 2.6 | 9.5 | 1.0 | 2.1 | 2.2 | 7.2 | 6.1 | 9.5 |

| Nr | Var | Kn | pH | BNK mval/ 100g | BoCa mval/ 100g | BoMg mval/ 100g | NO3 mg/ kg | NH4 mg/ kg | BoP mgP2O5 100g | BoK mgK2O/ 100g | Agst5 % |
|----|-----|-----|------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
| 24 | 7 | 39 | 5.77 | 2.5 | 17.5 | 2.0 | 2.8 | 1.1 | 7.6 | 6.0 | 9.1 |
| 25 | 7 | 58 | 5.71 | 2.5 | 19.5 | 2.2 | 2.1 | 0.9 | 9.0 | 8.1 | 7.5 |
| 26 | 7 | 74 | 5.98 | 2.0 | 17.5 | 2.0 | 2.4 | 0.5 | 8.1 | 6.3 | 7.1 |
| 27 | 8 | 27 | 5.82 | 2.1 | 19.5 | 2.2 | 2.0 | 1.6 | 7.7 | 5.7 | 9.6 |
| 28 | 8 | 62 | 5.78 | 2.4 | 15.0 | 2.2 | 1.4 | 1.0 | 7.8 | 6.1 | 8.9 |
| 29 | 8 | 65 | 5.61 | 2.8 | 17.5 | 2.0 | 1.8 | 1.1 | 6.2 | 5.2 | 7.7 |
| 30 | 8 | 83 | 5.67 | 2.2 | 17.5 | 2.2 | 3.1 | 3.9 | 7.3 | 5.9 | 11.0 |
| 31 | 9 | 29 | 5.74 | 2.4 | 15.0 | 2.2 | 2.1 | 0.8 | 6.3 | 5.6 | 10.1 |
| 32 | 9 | 69 | 5.63 | 2.5 | 10.5 | 1.8 | 1.8 | 3.7 | 6.9 | 7.3 | 24.1 |
| 33 | 10 | 4 | 5.57 | 2.7 | 10.5 | 1.8 | 2.6 | 0.8 | 7.0 | 6.5 | 27.1 |
| 34 | 10 | 18 | 5.78 | 2.2 | 15.5 | 2.2 | 2.2 | 1.3 | 7.3 | 5.2 | 14.8 |
| 35 | 10 | 37 | 5.58 | 2.4 | 10.5 | 0.6 | 2.5 | 1.5 | 7.1 | 6.3 | 22.7 |
| 36 | 10 | 147 | 7.18 | 0.0 | 15.5 | 3.0 | 4.1 | 1.9 | 44.6 | 2.3 | 26.5 |
| 37 | 11 | 15 | 5.56 | 2.4 | 15.0 | 2.2 | 1.3 | 1.0 | 6.1 | 5.8 | 24.0 |
| 38 | 11 | 33 | 5.44 | 2.9 | 19.5 | 3.0 | 2.8 | 3.0 | 6.8 | 5.0 | 23.1 |
| 39 | 11 | 35 | 5.62 | 2.7 | 14.5 | 2.2 | 1.3 | 0.9 | 7.8 | 5.5 | 13.9 |
| 40 | 11 | 45 | 5.54 | 3.0 | 15.0 | 2.4 | 1.8 | 3.2 | 6.8 | 7.0 | 23.1 |
| 41 | 11 | 193 | 5.50 | 3.1 | 12.5 | 2.0 | 2.8 | 1.4 | 6.8 | 7.8 | 15.2 |
| 42 | 12 | 28 | 5.61 | 2.6 | 19.5 | 2.2 | 2.7 | 2.0 | 6.4 | 5.8 | 16.5 |
| 43 | 12 | 15 | 5.59 | 2.8 | 15.5 | 2.2 | 1.9 | 1.7 | 6.1 | 6.5 | 21.2 |
| 44 | 12 | 62 | 5.75 | 2.4 | 15.5 | 2.2 | 1.8 | 1.3 | 7.9 | 6.7 | 14.2 |
| 45 | 12 | 62 | 5.59 | 2.5 | 14.0 | 2.2 | 3.1 | 2.8 | 6.5 | 6.1 | 16.2 |
| 46 | 12 | 105 | 5.45 | 2.7 | 20.0 | 3.0 | 3.5 | 1.8 | 6.9 | 5.7 | 15.9 |

Erläuterungen:

| | | |
|-------|---|---|
| Nr | = | laufende Nummer |
| Var | = | Variante (siehe Methodenteil) |
| Kn | = | Anzahl aktiver Knöllchen je Bodenquader (15x15x15) |
| BNK | = | Basen-Neutralisations-Kapazität in mval/ 100g Boden |
| BoCa | = | Austauschbares Kalzium in mval/ 100g Boden |
| BoMg | = | Austauschbares Magnesium in mval/ 100g Boden |
| NO3 | = | Freies und austauschbares Nitrat in mg NO3/ kg Boden |
| NH4 | = | Austauschbares Ammonium in mg NH4/ kg Boden |
| BoP | = | Pflanzenverfügbares Phosphat (nach Tschirikov) in mg P2O5/ 100g Boden |
| BoK | = | Austauschbares Kalium (nach Tschirikov) in mg K2O/ 100g Boden |
| Agst5 | = | Stabile Aggregate > 0,5 mm in % |

Anhang 5, gemessene Werte aus Versuchsteil B, Mai

| Nr | Var | Kn | TM | LuN | LuP | LuK | BoN | BNlh | BoP | BoK | BoMo. | pH |
|----|-----|-----|--------|------|------|------|-------|-------|---------|--------|-------|--------|
| | | | g/plot | %N | %P | %K | mg/kg | mgN/ | mgP2O5/ | mg Mo/ | 100g | 1M KCl |
| 1 | 1 | 125 | 11.25 | 2.61 | 0.23 | 0.98 | 0.55 | 7.14 | 9.8 | 14.9 | 0.68 | 5.71 |
| 2 | 2 | 215 | 10.10 | 2.26 | 0.28 | 1.11 | 0.58 | 4.25 | 11.0 | 13.8 | 0.38 | 5.60 |
| 3 | 3 | 221 | 11.45 | 2.34 | 0.20 | 1.20 | 0.39 | 8.26 | 8.9 | 12.5 | 0.40 | 5.84 |
| 4 | 4 | 137 | 9.55 | 2.26 | 0.24 | 1.11 | 0.31 | 18.99 | 9.9 | 12.5 | 0.40 | 6.07 |
| 5 | 5 | 152 | 8.50 | 1.18 | 0.21 | 1.28 | 0.89 | 9.84 | 7.8 | 14.1 | 0.52 | 5.87 |
| 6 | 6 | 27 | 16.80 | 2.07 | 0.22 | 1.33 | 0.31 | 8.26 | 8.4 | 13.8 | 0.52 | 5.92 |
| 7 | 7 | 11 | 9.20 | 2.47 | 0.24 | 1.20 | 0.25 | 7.70 | 7.9 | 12.5 | 0.56 | 5.85 |
| 8 | 8 | 125 | 12.75 | 1.84 | 0.18 | 0.98 | 0.23 | 7.98 | 8.5 | 12.5 | 0.56 | 5.73 |
| 9 | 9 | 66 | 10.50 | 2.07 | 0.22 | 1.11 | 0.21 | 7.51 | 9.4 | 12.5 | 0.48 | 5.73 |
| 10 | 10 | 71 | 14.00 | 2.16 | 0.20 | 1.02 | 0.06 | 7.70 | 7.8 | 13.0 | 0.64 | 5.42 |
| 11 | 11 | 30 | 16.80 | 1.35 | 0.22 | 1.02 | 0.06 | 7.42 | 9.2 | 12.5 | 0.64 | 5.60 |
| 12 | 12 | 82 | 10.40 | 1.89 | 0.20 | 1.07 | 0.31 | 7.42 | 9.2 | 13.1 | 0.64 | 5.55 |
| 13 | 1 | 209 | 1.70 | 2.70 | 0.23 | 1.02 | 0.36 | 13.20 | 8.4 | 12.5 | 0.64 | 6.10 |
| 14 | 2 | 51 | 0.95 | 2.61 | 0.28 | 1.55 | 3.40 | 8.72 | 9.8 | 12.9 | 0.48 | 6.09 |
| 15 | 3 | 41 | 2.70 | 2.16 | 0.19 | 0.93 | 0.44 | 7.60 | 7.8 | 11.3 | 0.52 | 5.87 |
| 16 | 4 | 31 | 2.15 | 2.16 | 0.16 | 1.11 | 0.48 | 7.32 | 8.3 | 11.9 | 0.56 | 5.69 |
| 17 | 5 | 82 | 0.85 | 2.26 | 0.19 | 0.83 | 0.63 | 7.98 | 7.3 | 13.8 | 0.48 | 6.50 |
| 18 | 6 | 57 | 1.25 | 2.07 | 0.15 | 1.02 | 0.22 | 9.00 | 7.7 | 12.3 | 0.56 | 5.88 |
| 19 | 7 | 23 | 1.60 | 2.07 | 0.21 | 1.11 | 0.22 | 6.95 | 7.2 | 11.9 | 0.48 | 6.62 |
| 20 | 8 | 95 | 1.75 | 2.16 | 0.24 | 1.02 | 0.21 | 7.32 | 6.9 | 11.9 | 0.84 | 6.66 |
| 21 | 9 | 49 | 1.10 | 1.89 | 0.21 | 1.28 | 0.06 | 6.76 | 13.2 | 13.8 | 0.68 | 5.60 |
| 22 | 10 | 18 | 1.00 | 2.34 | 0.19 | 0.88 | 0.16 | 6.76 | 10.1 | 12.3 | 0.48 | 5.81 |

Gemessene Werte aus Versuchsteil B, Mai (Fortsetzung)

| Nr | Var | Kn | TM | LuN | LuP | LuK | BoN | BNlh | BoP | BoK | BoMo. | pH |
|----|-----|-----|--------|------|------|------|-------|--------------|-----------------|----------------|----------------|--------|
| | | | g/plot | %N | % P | % K | mg/kg | mgN/ 100g | mgP2O5/ 100g | mgK2O/ 100g | mg Mo/ 100g | 1M KCl |
| 23 | 11 | 144 | 1.65 | 1.57 | 0.20 | 1.28 | 0.44 | 6.25 | 9.8 | 13.9 | 0.44 | 5.70 |
| 24 | 12 | 102 | 0.60 | 1.62 | 0.24 | 1.33 | 1.74 | 6.25 | 9.4 | 13.5 | 0.44 | 5.55 |
| 25 | 1 | 221 | 7.10 | 2.07 | 0.25 | 1.28 | 0.24 | 6.95 | 7.7 | 12.5 | 0.48 | 5.40 |
| 26 | 2 | 101 | 7.30 | 2.16 | 0.26 | 1.20 | 0.16 | 6.76 | 8.5 | 11.9 | 0.39 | 5.25 |
| 27 | 3 | 95 | 5.70 | 1.98 | 0.22 | 1.33 | 2.16 | 7.42 | 9.4 | 13.1 | 0.44 | 5.41 |
| 28 | 4 | 80 | 6.20 | 2.07 | 0.22 | 1.02 | 0.47 | 7.42 | 8.2 | 12.1 | 0.68 | 5.29 |
| 29 | 5 | 59 | 4.30 | 2.26 | 0.21 | 0.83 | 0.74 | 6.86 | 9.0 | 12.1 | 0.27 | 5.31 |
| 30 | 6 | 171 | 9.50 | 2.07 | 0.24 | 1.07 | 0.60 | 7.14 | 12.9 | 12.5 | 0.14 | 5.36 |
| 31 | 7 | 55 | 4.70 | 1.89 | 0.22 | 0.88 | 0.47 | 6.86 | 9.3 | 15.0 | 0.34 | 5.52 |
| 32 | 8 | 61 | 3.50 | -1 | -1 | -1 | 0.21 | 9.10 | 9.8 | 15.0 | 0.44 | 5.46 |
| 33 | 9 | 84 | 3.30 | 2.26 | 0.24 | 1.25 | 0.69 | 9.66 | 9.0 | 14.3 | 0.40 | 5.50 |
| 34 | 10 | 21 | 3.65 | 1.62 | 0.17 | 1.11 | 0.31 | 7.42 | 8.1 | 16.3 | 0.44 | 5.50 |
| 35 | 11 | 51 | 6.70 | 2.25 | 0.26 | 1.11 | 2.00 | 10.22 | 7.8 | 14.4 | 0.40 | 5.45 |
| 36 | 12 | 41 | 3.90 | 1.53 | 0.24 | 0.98 | 2.29 | 10.12 | 8.6 | 12.5 | 0.40 | 5.45 |

Erläuterungen:

Probennahmetermini soferni nicht anders angegeben im Mai bzw. Juli 92 (siehe Methodenteil)

!! P- und K- Gehalte der Luzerne in P205 bzw. K20 !!

| | | |
|------|---|--|
| Nr | = | laufende Nummer |
| Var | = | Variante (siehe Methodenteil) 490 ? |
| Kn | = | Anzahl aktiver Knöllchen je Bodenquader (15x15x15) |
| TM | = | Trockenmasse der Luzerne je ausgegrabenen Plot von 15x15 cm in g/plot |
| LuN | = | N-Gehalt der Luzerne in % N |
| LuP | = | P-Gehalt der Luzerne in % P |
| LuK | = | K-Gehalt der Luzerne in % K |
| BoN | = | Nitrat-N im Boden in mg NO3-N/ kg Boden |
| BNlh | = | Leicht hydrolisierbarer Stickstoff im Boden in mg/ 100g Boden |
| BoP | = | Pflanzenverfügbares Phosphat im Boden (nach Tschirikov) in mg P2O5/ 100g Boden |
| BoK | = | Austauschbares Kalium im Boden (nach Tschirikov) in mg/ 100g Boden |
| BoMo | = | Pflanzenverfügbares Molybdän im Boden in mg/ kg Boden |
| pH | = | pH-Wert (1M KCl) |

Anhang 6, gemessene Werte aus Versuchsteil B, Juli/ August

| Nr | Var | Kn | TM g/m2 | LuN % | LuP % P | LuK % K | BoN mg/kg NO3-N | BNlh mgN/ 100g | BoP mg/P2O5mgK2O/ 100g | BoK 100g | BoMo mgMo/ kg | BoLd g/cm3 | ALuN % | ALuP % P | ALuK % K | pH 1M KCl |
|----|-----|----|------------|----------|------------|------------|-----------------------|----------------------|------------------------------|-------------|---------------------|---------------|-----------|-------------|-------------|--------------|
| 1 | 1 | 21 | 480 | 1.80 | 0.14 | 0.71 | 1.29 | 11.24 | 7.5 | 12.5 | 1.20 | 1.36 | 3.04 | 0.17 | 1.03 | 5.50 |
| 2 | 2 | 7 | 415 | 1.62 | 0.11 | 0.74 | 3.00 | 7.60 | 5.7 | 12.5 | 0.56 | 1.40 | 3.04 | 0.18 | 1.03 | 5.45 |
| 3 | 3 | 74 | 605 | 1.67 | 0.14 | 0.74 | 2.14 | 7.88 | 10.4 | 12.2 | 0.56 | 1.36 | 2.90 | 0.22 | 1.33 | 5.72 |
| 4 | 4 | 22 | 495 | 1.58 | 0.12 | 0.67 | 5.10 | 6.95 | 10.8 | 11.0 | 0.56 | 1.34 | 2.81 | 0.17 | 1.65 | 5.80 |
| 5 | 5 | 23 | 655 | 1.89 | 0.18 | 0.55 | 0.98 | 7.42 | 12.8 | 12.5 | 1.68 | 1.37 | 3.04 | 0.24 | 1.25 | 6.05 |
| 6 | 6 | 41 | 470 | 1.76 | 0.18 | 0.74 | 0.78 | 7.79 | 10.8 | 11.0 | 0.40 | 1.26 | 2.90 | 0.26 | 1.11 | 5.95 |
| 7 | 7 | 21 | 600 | 1.44 | 0.16 | 0.86 | 0.69 | 6.76 | 5.6 | 11.0 | 0.48 | 1.37 | 2.81 | 0.15 | 0.96 | 5.60 |
| 8 | 8 | 16 | 525 | 1.53 | 0.17 | 0.86 | 0.76 | 7.14 | 7.8 | 11.2 | 0.48 | 1.36 | 2.81 | 0.17 | 1.11 | 5.40 |
| 9 | 9 | 40 | 535 | 1.80 | 0.20 | 0.71 | 0.72 | 6.30 | 9.6 | 11.2 | 0.64 | 1.20 | 2.71 | 0.17 | 0.96 | 5.40 |
| 10 | 10 | 14 | 425 | 1.44 | 0.13 | 0.86 | 0.66 | 7.79 | 7.3 | 12.5 | 0.56 | 1.23 | 2.44 | 0.13 | 1.11 | 5.46 |
| 11 | 11 | 13 | 445 | 1.62 | 0.13 | 0.74 | 1.20 | 6.76 | 5.4 | 12.5 | 0.58 | 1.36 | nb | nb | nb | 5.45 |
| 12 | 12 | 8 | 540 | 1.44 | 0.14 | 0.74 | 0.52 | 7.88 | 8.2 | 12.4 | 0.68 | 1.30 | nb | nb | nb | 5.48 |
| 13 | 1 | 7 | 465 | 1.71 | 0.15 | 0.82 | 3.90 | 8.26 | 9.0 | 13.0 | 0.48 | 1.22 | 2.62 | 0.24 | 1.03 | 5.65 |
| 14 | 2 | 37 | 510 | 1.71 | 0.15 | 0.82 | nb | 5.74 | 11.2 | 13.0 | 0.44 | 1.31 | 2.76 | 0.18 | 0.75 | 5.60 |
| 15 | 3 | 9 | 585 | 1.49 | 0.15 | 0.81 | nb | 11.62 | 7.8 | 12.5 | 0.38 | 1.35 | 2.94 | 0.20 | 1.33 | 5.80 |
| 16 | 4 | 77 | 460 | 1.67 | 0.20 | 0.94 | nb | 6.76 | 7.1 | 13.5 | 0.52 | 1.32 | 2.35 | 0.11 | 1.11 | 5.66 |
| 17 | 5 | 11 | 475 | 1.58 | 0.19 | 0.90 | 0.79 | 9.38 | 7.9 | 12.5 | 0.48 | 1.43 | 2.81 | 0.10 | 1.25 | 5.90 |
| 18 | 6 | 23 | 560 | 1.53 | 0.12 | 0.82 | nb | 9.10 | 8.2 | 14.0 | 0.52 | 1.39 | 2.71 | 0.13 | 0.96 | 5.90 |
| 19 | 7 | 9 | 610 | 1.35 | 0.15 | 0.74 | 0.83 | 8.26 | 8.7 | 12.5 | 0.56 | 1.42 | 2.53 | 0.17 | 0.75 | 5.60 |
| 20 | 8 | 81 | 580 | 1.67 | 0.19 | 0.74 | 1.38 | 7.70 | 8.3 | 14.5 | 0.48 | 1.40 | 2.76 | 0.18 | 0.75 | 5.60 |
| 21 | 9 | 23 | 520 | 1.22 | 0.18 | 0.82 | 0.72 | nb | 10.3 | 12.5 | 0.44 | 1.45 | 2.53 | 0.14 | 0.58 | 5.47 |
| 22 | 10 | 25 | 510 | 1.71 | 0.16 | 0.74 | 0.63 | 6.67 | 6.7 | 12.5 | 0.44 | 1.39 | 3.08 | 0.16 | 0.75 | 5.38 |
| 23 | 11 | 23 | 595 | 1.98 | 0.19 | 0.81 | 1.05 | 7.14 | 7.4 | 12.5 | 0.44 | 1.35 | 2.85 | 0.17 | 0.58 | 5.35 |
| 24 | 12 | 7 | 505 | 1.31 | 0.19 | 1.09 | nb | nb | 5.2 | 13.0 | nb | 1.40 | 2.76 | 0.16 | 0.88 | 5.40 |

Gemessene Werte aus Versuchsteil B, Juli/ August (Fortsetzung)

| Nr | Var | Kn | TM g/m ² | LuN % | LuP % P | LuK % K | BoN mg/kg NO ₃ -N | BNlh mgN/ 100g | BoP mg/P ₂ O ₅ mgK ₂ O/ 100g | BoK 100g | BoMo mgMo/ kg | BoLd g/cm ³ | ALuN % | ALuP % P | ALuK % K | pH 1M KCl |
|----|-----|----|------------------------|----------|------------|------------|------------------------------------|----------------------|---|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|-------------|-------------|--------------|
| 25 | 1 | 9 | 450 | 1.53 | 0.21 | 0.67 | nb | 9.56 | 6.3 | 12.5 | 0.44 | 1.28 | 2.81 | 0.21 | 0.88 | 5.45 |
| 26 | 2 | 11 | 525 | 2.03 | 0.19 | 0.74 | 0.83 | 6.86 | 7.4 | 12.5 | 0.44 | 1.36 | 3.17 | 0.33 | 1.33 | 5.45 |
| 27 | 3 | 27 | 430 | 1.62 | 0.22 | 0.67 | 1.05 | 7.88 | 8.8 | 12.0 | 0.48 | 1.38 | 2.90 | 0.17 | 0.88 | 5.43 |
| 28 | 4 | 8 | 335 | 1.80 | 0.21 | 0.71 | 0.58 | 9.19 | 6.8 | 11.0 | 0.44 | 1.46 | 3.13 | 0.28 | 1.03 | 5.35 |
| 29 | 5 | 28 | 410 | 1.85 | 0.16 | 0.71 | nb | 8.82 | 7.5 | 12.8 | 0.44 | 1.36 | 2.71 | 0.12 | 0.75 | 5.80 |
| 30 | 6 | 64 | 435 | 1.76 | 0.14 | 0.67 | 0.69 | 6.86 | 7.4 | 12.8 | 0.48 | 1.32 | 2.53 | 0.20 | 0.88 | 5.60 |
| 31 | 7 | 38 | 420 | 1.76 | 0.15 | 0.74 | 1.51 | 10.40 | 8.3 | 13.0 | 0.56 | 1.36 | 2.62 | 0.18 | 0.88 | 6.02 |
| 32 | 8 | 42 | 350 | 1.67 | 0.14 | 0.82 | 1.00 | 7.14 | 8.1 | 12.8 | 0.52 | 1.30 | 2.62 | 0.18 | 0.88 | 6.10 |
| 33 | 9 | 27 | 365 | 1.80 | 0.14 | 0.82 | 0.76 | 17.87 | 5.0 | 12.8 | 0.80 | 1.30 | 2.62 | 0.16 | 0.88 | 5.65 |
| 34 | 10 | 5 | 400 | 1.62 | 0.13 | 0.82 | 0.55 | 8.35 | 6.3 | 12.5 | 0.60 | 1.36 | 2.53 | 0.12 | 1.03 | 5.53 |
| 35 | 11 | 17 | 380 | 1.85 | 0.13 | 0.81 | 0.78 | 12.74 | 6.7 | 13.0 | 0.60 | 1.32 | 2.90 | 0.15 | 0.75 | 5.76 |
| 36 | 12 | 23 | 395 | 1.58 | 0.14 | 0.71 | 0.56 | 8.44 | 6.9 | 12.5 | 0.72 | 1.34 | 2.62 | 0.11 | 0.96 | 5.60 |
| 37 | 1 | 4 | 345 | 1.85 | 0.17 | 0.71 | 2.51 | 7.42 | 5.8 | 12.2 | 0.52 | 1.26 | 1.84 | 0.17 | 1.13 | 5.50 |
| 38 | 2 | 7 | 425 | 1.67 | 0.17 | 0.81 | 1.59 | 6.48 | 5.0 | 12.5 | 0.47 | 1.32 | 1.84 | 0.17 | 0.87 | 5.35 |
| 39 | 3 | 8 | 340 | 1.58 | 0.17 | 0.63 | 2.00 | 7.14 | 5.0 | 13.0 | 0.64 | 1.44 | 2.16 | 0.21 | 1.28 | 5.40 |
| 40 | 4 | 21 | 390 | 1.62 | 0.18 | 0.71 | 1.66 | 6.30 | 5.0 | 13.5 | 0.52 | 1.22 | 1.70 | 0.16 | 0.80 | 5.48 |
| 41 | 5 | 2 | 415 | 1.62 | 0.18 | 0.71 | 0.69 | 7.14 | 4.5 | 12.5 | 0.64 | 1.32 | 1.70 | 0.15 | 0.80 | 5.50 |
| 42 | 6 | 3 | 400 | 1.80 | 0.18 | 0.74 | 0.50 | 6.39 | 4.2 | 12.5 | 0.52 | 1.26 | 1.61 | 0.15 | 0.80 | 5.44 |
| 43 | 7 | 9 | 395 | 1.62 | 0.15 | 0.81 | 0.96 | 6.95 | 4.2 | 12.5 | 0.68 | 1.26 | 1.93 | 0.14 | 0.87 | 5.48 |
| 44 | 8 | 15 | 360 | 1.40 | 0.14 | 0.81 | 1.45 | 7.51 | 4.0 | 12.6 | 0.56 | 1.26 | 1.84 | 0.14 | 0.96 | 5.55 |
| 45 | 9 | 18 | 395 | 1.44 | 0.14 | 0.67 | 0.72 | 5.18 | 4.0 | 12.8 | 0.56 | 1.30 | 1.84 | 0.13 | 0.80 | 5.50 |
| 46 | 10 | 4 | 415 | 1.40 | 0.14 | 0.81 | nb | 7.23 | 4.3 | 12.0 | 0.64 | 1.28 | 1.24 | 0.13 | 0.80 | 5.55 |
| 47 | 11 | 9 | 305 | 1.53 | 0.17 | 0.81 | 1.50 | 5.55 | 4.2 | 11.5 | 0.52 | 1.40 | 1.98 | 0.15 | 0.96 | 5.30 |
| 48 | 12 | 14 | 415 | 1.62 | 0.16 | 0.82 | 1.91 | 8.16 | 4.0 | 12.5 | 0.68 | 1.34 | 1.84 | 0.13 | 0.87 | 5.45 |

Gemessene Werte aus Versuchsteil B, Juli/ August (Fortsetzung)

| Nr | Var | Kn | TM g/m ² | LuN % | LuP % P | LuK % K | BoN mg/kg NO ₃ -N | BNlh mgN/ 100g | BoP mg/P ₂ O ₅ 100g | BoK 100g | BoMo mgMo/ kg | BoLd g/cm ³ | ALuN % | ALuP % P | ALuK % K | pH 1M KCl |
|----|-----|----|------------------------|----------|------------|------------|------------------------------------|----------------------|---|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|-------------|-------------|--------------|
| 49 | 1 | 3 | 440 | 1.67 | 0.16 | 0.74 | nb | 7.14 | 3.5 | 12.5 | 0.80 | 1.26 | 1.61 | 0.15 | 0.96 | 5.38 |
| 50 | 2 | 2 | 320 | 1.98 | 0.19 | 0.82 | 0.79 | 13.77 | 4.0 | 12.4 | 0.72 | 1.32 | 1.61 | 0.11 | 1.04 | 5.41 |
| 51 | 3 | 7 | 380 | 1.85 | 0.15 | 0.48 | 0.60 | 7.23 | 3.3 | 12.5 | 0.64 | 1.32 | 1.70 | 0.12 | 0.96 | 5.52 |
| 52 | 4 | 4 | 365 | 1.98 | 0.19 | 0.83 | 0.52 | 8.54 | 4.2 | 12.4 | 0.56 | 1.38 | 2.30 | 0.12 | 0.96 | 5.45 |
| 53 | 5 | 5 | 430 | 1.58 | 0.16 | 1.18 | 0.48 | 6.58 | 5.3 | 12.4 | 0.60 | 1.28 | 1.98 | 0.1 | 0.87 | 5.66 |
| 54 | 6 | 51 | 270 | 2.03 | 0.19 | 1.25 | 0.52 | 6.76 | 4.5 | 12.5 | 0.56 | 1.32 | 2.21 | 0.12 | 0.87 | 5.60 |
| 55 | 7 | 6 | 370 | 2.16 | 0.21 | 0.55 | 0.76 | 7.14 | 4.6 | 12.0 | 0.60 | 1.34 | 1.89 | 0.13 | 1.00 | 5.85 |
| 56 | 8 | 23 | 325 | 1.80 | 0.12 | 1.33 | 0.83 | 7.60 | 5.3 | 12.5 | 0.52 | 1.40 | 1.64 | 0.11 | 1.07 | 5.64 |
| 57 | 9 | 17 | 395 | 2.03 | 0.17 | 1.38 | 0.50 | 6.95 | 4.5 | 12.0 | 0.56 | 1.38 | 2.07 | 0.15 | 0.87 | 5.37 |
| 58 | 10 | 22 | 390 | 1.58 | 0.21 | 0.74 | 0.58 | 7.51 | 4.8 | 12.0 | 0.56 | 1.42 | 1.29 | 0.11 | 0.67 | 5.46 |
| 59 | 11 | 19 | 460 | 1.80 | 0.18 | 0.82 | 0.46 | 7.14 | 4.0 | 12.5 | 0.52 | 1.26 | 1.98 | 0.14 | 0.76 | 5.38 |
| 60 | 12 | 11 | 310 | 1.80 | 0.19 | 0.71 | 0.44 | 6.39 | 4.5 | 12.5 | 0.48 | 1.36 | 1.84 | 0.10 | 0.87 | 5.38 |
| 61 | 1 | 4 | 440 | 1.53 | 0.13 | 1.22 | 0.42 | 7.23 | 4.0 | 13.0 | 0.52 | 1.18 | 1.83 | 0.17 | 1.12 | 5.35 |
| 62 | 2 | 6 | 390 | 2.07 | 0.14 | 0.82 | 0.48 | 7.04 | 5.3 | 12.0 | 0.48 | 1.32 | 1.93 | 0.14 | 1.14 | 5.35 |
| 63 | 3 | 8 | 375 | 1.62 | 0.10 | 0.74 | 0.40 | 7.98 | 4.8 | 12.5 | 0.44 | 1.32 | 1.71 | 0.13 | 1.00 | 5.46 |
| 64 | 4 | 14 | 440 | 1.35 | 0.11 | 0.82 | 0.38 | 6.58 | 6.2 | 12.5 | 0.48 | 1.34 | 1.91 | 0.14 | 1.08 | 5.44 |
| 65 | 5 | 15 | 400 | 1.53 | 0.14 | 0.74 | 0.48 | 7.70 | 4.5 | 12.5 | 0.44 | 1.32 | 1.63 | 0.12 | 0.96 | 5.45 |
| 66 | 6 | 19 | 420 | 1.62 | 0.11 | 0.82 | 0.48 | 7.04 | 4.1 | 13.1 | 0.48 | 1.30 | 1.98 | 0.12 | 1.04 | 5.45 |
| 67 | 7 | 1 | 405 | 1.71 | 0.13 | 0.81 | 0.42 | 7.70 | 3.3 | 13.5 | 0.52 | 1.34 | 1.73 | 0.11 | 1.01 | 5.40 |
| 68 | 8 | 2 | 440 | 1.89 | 0.17 | 0.74 | 0.35 | 7.60 | 3.5 | 15.0 | 0.56 | 1.30 | 1.90 | 0.13 | 1.11 | 5.44 |
| 69 | 9 | 3 | 295 | 1.71 | 0.11 | 0.98 | 0.35 | 7.70 | 4.8 | 15.0 | 0.69 | 1.34 | 1.93 | 0.10 | 0.96 | 5.45 |
| 70 | 10 | 16 | 365 | 1.80 | 0.14 | 1.09 | 0.35 | 6.67 | 3.5 | 12.5 | 0.56 | 1.32 | 1.84 | 0.11 | 0.87 | 5.30 |
| 71 | 11 | 7 | 360 | 1.40 | 0.10 | 1.38 | 0.50 | 8.72 | 6.2 | 12.5 | 0.60 | 1.28 | 1.84 | 0.09 | 1.13 | 5.45 |
| 72 | 12 | 10 | 360 | 1.98 | 0.14 | 1.20 | 0.52 | 7.79 | 6.5 | 14.0 | 0.56 | 1.30 | 1.74 | 0.10 | 0.98 | 5.48 |

Erläuterungen:

Probennahmetermini so fern nicht anders angegeben im Mai bzw. Juli 92 (siehe Methodenteil)

| | | |
|------|---|--|
| Nr | = | laufende Nummer |
| Var | = | Variante (siehe Methodenteil) |
| Kn | = | Anzahl aktiver Knöllchen je Bodenquader (15x15x15) |
| TM | = | Trockenmasse der Luzerne in g/m ² |
| LuN | = | N-Gehalt der Luzerne in % N |
| LuP | = | P-Gehalt der Luzerne in % P |
| LuK | = | K-Gehalt der Luzerne in % K |
| BoN | = | Nitrat-N im Boden in mg NO ₃ -N/ kg Boden |
| BNlh | = | Leicht hydrolisierbarer Stickstoff im Boden in mg/ 100g Boden |
| BoP | = | Pflanzenverfügbares Phosphat im Boden (nach Tschirikov) in mg P ₂ O ₅ / 100g Boden |
| BoK | = | Austauschbares Kalium im Boden (nach Tschirikov) in mg/ 100g Boden |
| BoMo | = | Pflanzenverfügbares Molybdän im Boden in mg/ kg Boden |
| BoLd | = | Lagerungsdichte des Bodens (0-10cm) in g/cm ³ |
| ALuN | = | N-Gehalt der Luzerne in % N im August |
| ALuP | = | P-Gehalt der Luzerne in % P im August |
| ALuK | = | K-Gehalt der Luzerne in % K im August |
| pH | = | pH-Wert (1M KCl) |

Anhang 7: Korrelationen aus Versuchsteil A:

| Correl | LN | LP | LK | LCA | LMG | TML |
|--------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| LN | 1.0000 (21) P= .000 | .2918 (21) P= .100 | -.4676 (21) P= .016 | .4873 (21) P= .013 | .5009 (21) P= .010 | -.1456 (21) P= .264 |
| LP | .2918 (21) P= .100 | 1.0000 (21) P= .000 | .2919 (21) P= .100 | -.0993 (21) P= .334 | -.1858 (21) P= .210 | -.1390 (21) P= .274 |
| LK | -.4676 (21) P= .016 | .2919 (21) P= .100 | 1.0000 (21) P= .000 | -.7684 (21) P= .000 | -.8113 (21) P= .000 | -.2059 (21) P= .185 |
| LCA | .4873 (21) P= .013 | -.0993 (21) P= .334 | -.7684 (21) P= .000 | 1.0000 (21) P= .000 | .7426 (21) P= .000 | .0444 (21) P= .424 |
| LMG | .5009 (21) P= .010 | -.1858 (21) P= .210 | -.8113 (21) P= .000 | .7426 (21) P= .000 | 1.0000 (21) P= .000 | -.0792 (21) P= .366 |
| TML | -.1456 (21) P= .264 | -.1390 (21) P= .274 | -.2059 (21) P= .185 | .0444 (21) P= .424 | -.0792 (21) P= .366 | 1.0000 (23) P= .000 |
| KNL | -.2666 (18) P= .142 | .4956 (18) P= .018 | .4137 (18) P= .044 | -.2511 (18) P= .157 | -.4987 (18) P= .018 | .2462 (20) P= .148 |
| KN | .2917 (9) P= .223 | .4418 (9) P= .117 | -.3222 (9) P= .199 | .5291 (9) P= .071 | .4982 (9) P= .086 | -.0470 (9) P= .452 |
| KP | .4155 (9) P= .133 | .8974 (9) P= .001 | -.4388 (9) P= .119 | .4874 (9) P= .092 | .2506 (9) P= .258 | .4295 (9) P= .124 |
| KK | -.0260 (9) P= .474 | -.2003 (9) P= .303 | .9305 (9) P= .000 | -.1608 (9) P= .340 | -.6316 (9) P= .034 | -.5487 (9) P= .063 |
| KCA | .5915 (8) P= .061 | .6092 (8) P= .054 | -.5876 (8) P= .063 | .3926 (8) P= .168 | .3765 (8) P= .179 | .0658 (8) P= .439 |
| KMG | .8062 (8) P= .008 | .5949 (8) P= .060 | -.4917 (8) P= .108 | .2309 (8) P= .291 | .7288 (8) P= .020 | .0367 (8) P= .466 |
| TMK | .1718 (21) P= .228 | -.1567 (21) P= .249 | -.2880 (21) P= .103 | .2488 (21) P= .138 | .2763 (21) P= .113 | .2405 (23) P= .134 |
| KNK | .2710 (10) P= .224 | .2097 (10) P= .280 | .4059 (10) P= .122 | -.0406 (10) P= .456 | .2081 (10) P= .282 | -.1757 (11) P= .303 |
| GN | .5641 (16) P= .011 | -.0956 (16) P= .362 | -.1084 (16) P= .345 | .2445 (16) P= .181 | .2568 (16) P= .169 | -.5043 (18) P= .016 |

| | | | | | | |
|------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| GP | .1696 (16) P= .265 | .4255 (16) P= .050 | .0711 (16) P= .397 | .1652 (16) P= .270 | .0088 (16) P= .487 | -.2700 (18) P= .139 |
| GK | .1595 (16) P= .278 | -.0307 (16) P= .455 | .3957 (16) P= .065 | .0113 (16) P= .483 | -.3363 (16) P= .101 | -.3303 (18) P= .090 |
| GCA | .1961 (16) P= .233 | .3304 (16) P= .106 | -.0831 (16) P= .380 | .3015 (16) P= .128 | -.1787 (16) P= .254 | .2934 (18) P= .119 |
| GMG | .1194 (16) P= .330 | .0427 (16) P= .438 | -.0356 (16) P= .448 | .0869 (16) P= .375 | .0552 (16) P= .420 | -.3017 (18) P= .112 |
| TMG | .4247 (21) P= .027 | .0446 (21) P= .424 | .0056 (21) P= .490 | .1072 (21) P= .322 | .1341 (21) P= .281 | -.4179 (23) P= .024 |
| TMT | .1376 (21) P= .276 | -.0047 (21) P= .492 | -.0326 (21) P= .444 | -.1316 (21) P= .285 | -.1252 (21) P= .294 | .3770 (23) P= .038 |
| BNO3 | -.0175 (21) P= .470 | -.2413 (21) P= .146 | -.2315 (21) P= .156 | .0166 (21) P= .471 | .1861 (21) P= .210 | .3256 (23) P= .065 |
| BNH4 | -.1907 (21) P= .204 | .0125 (21) P= .479 | .6412 (21) P= .001 | -.6619 (21) P= .001 | -.6261 (21) P= .001 | .0021 (23) P= .496 |
| BP | -.2259 (21) P= .162 | .3907 (21) P= .040 | .5265 (21) P= .007 | -.3774 (21) P= .046 | -.6869 (21) P= .000 | .0984 (23) P= .328 |
| BK | -.0906 (21) P= .348 | .0128 (21) P= .478 | .6457 (21) P= .001 | -.4038 (21) P= .035 | -.5204 (21) P= .008 | -.1185 (23) P= .295 |
| BNK | .0208 (21) P= .464 | .5684 (21) P= .004 | .3397 (21) P= .066 | -.1573 (21) P= .248 | -.3122 (21) P= .084 | -.3231 (23) P= .066 |
| BCA | -.1570 (21) P= .248 | .1314 (21) P= .285 | -.2301 (21) P= .158 | .2201 (21) P= .169 | .1500 (21) P= .258 | .0755 (23) P= .366 |
| BMG | .0316 (21) P= .446 | .2466 (21) P= .141 | .0664 (21) P= .387 | .2013 (21) P= .191 | .0074 (21) P= .487 | -.2547 (23) P= .120 |
| PH | -.0544 (21) P= .407 | -.5114 (21) P= .009 | -.3174 (21) P= .080 | .0861 (21) P= .355 | .1731 (21) P= .226 | .4054 (23) P= .027 |
| AGST | .2927 (21) P= .099 | -.1811 (21) P= .216 | -.3531 (21) P= .058 | .0861 (21) P= .355 | .3326 (21) P= .070 | .1010 (23) P= .323 |
| AGST | .0607 (21) P= .397 | -.0908 (21) P= .348 | -.2190 (21) P= .170 | -.0242 (21) P= .459 | .1152 (21) P= .310 | .1500 (23) P= .247 |

| | | | | | | |
|------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| AGST | .0111 (21) P= .481 | .0783 (21) P= .368 | -.2371 (21) P= .150 | .0466 (21) P= .420 | .1108 (21) P= .316 | .1129 (23) P= .304 |
| NLGO | -.3439 (20) P= .069 | -.5418 (20) P= .007 | -.1452 (20) P= .271 | -.1764 (20) P= .228 | -.1111 (20) P= .321 | .3314 (22) P= .066 |
| BLD | .3045 (19) P= .103 | -.3082 (19) P= .100 | -.4282 (19) P= .034 | .2941 (19) P= .111 | .3150 (19) P= .094 | .4543 (21) P= .019 |
| CT | -.1099 (7) P= .407 | .3070 (7) P= .252 | .2959 (7) P= .260 | -.5784 (7) P= .087 | -.2841 (7) P= .268 | -.4015 (7) P= .186 |

| Correl | KNL | KN | KP | KK | KCA | KMG |
|--------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| KNL | 1.0000 (20) P= .000 | .3934 (9) P= .147 | .7129 (9) P= .016 | -.3839 (9) P= .154 | .4259 (8) P= .146 | .4799 (8) P= .114 |
| KN | .3934 (9) P= .147 | 1.0000 (9) P= .000 | .3513 (9) P= .177 | -.4566 (9) P= .108 | .8224 (8) P= .006 | .7057 (8) P= .025 |
| KP | .7129 (9) P= .016 | .3513 (9) P= .177 | 1.0000 (9) P= .000 | -.5337 (9) P= .069 | .6565 (8) P= .039 | .6056 (8) P= .056 |
| KK | -.3839 (9) P= .154 | -.4566 (9) P= .108 | -.5337 (9) P= .069 | 1.0000 (9) P= .000 | -.6951 (8) P= .028 | -.6454 (8) P= .042 |
| KCA | .4259 (8) P= .146 | .8224 (8) P= .006 | .6565 (8) P= .039 | -.6951 (8) P= .028 | 1.0000 (8) P= .000 | .7767 (8) P= .012 |
| KMG | .4799 (8) P= .114 | .7057 (8) P= .025 | .6056 (8) P= .056 | -.6454 (8) P= .042 | .7767 (8) P= .012 | 1.0000 (8) P= .000 |
| TMK | -.2838 (20) P= .113 | .0819 (9) P= .417 | -.2745 (9) P= .237 | .2531 (9) P= .256 | -.5450 (8) P= .081 | -.5624 (8) P= .073 |
| KNK | .2172 (11) P= .261 | -.0165 (8) P= .485 | -.0609 (8) P= .443 | .4731 (8) P= .118 | -.3035 (8) P= .232 | .2434 (8) P= .281 |
| GN | -.1753 (15) P= .266 | -.0764 (9) P= .423 | -.5481 (9) P= .063 | .5375 (9) P= .068 | -.4141 (8) P= .154 | -.1547 (8) P= .357 |
| GP | .6585 (15) P= .004 | .6806 (9) P= .022 | .3920 (9) P= .148 | -.1449 (9) P= .355 | .7076 (8) P= .025 | .7371 (8) P= .018 |
| GK | .4436 (15) P= .049 | -.2252 (9) P= .280 | -.5523 (9) P= .062 | .7862 (9) P= .006 | -.4050 (8) P= .160 | -.2122 (8) P= .307 |

| | | | | | | |
|------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| GCA | .0845 (15) P= .382 | .3032 (9) P= .214 | .3710 (9) P= .163 | -.0435 (9) P= .456 | .4775 (8) P= .116 | .1239 (8) P= .385 |
| GMG | .4771 (15) P= .036 | .4547 (9) P= .109 | -.0194 (9) P= .480 | -.4377 (9) P= .119 | .5847 (8) P= .064 | .5908 (8) P= .062 |
| TMG | -.4372 (20) P= .027 | -.1444 (9) P= .355 | -.2039 (9) P= .299 | .4411 (9) P= .117 | .0232 (8) P= .478 | -.2149 (8) P= .305 |
| TMT | -.2119 (20) P= .185 | -.3927 (9) P= .148 | .0543 (9) P= .445 | .0842 (9) P= .415 | -.1799 (8) P= .335 | -.3026 (8) P= .233 |
| BNO3 | -.2573 (20) P= .137 | .1985 (9) P= .304 | -.0450 (9) P= .454 | -.2957 (9) P= .220 | .1556 (8) P= .356 | .1988 (8) P= .319 |
| BNH4 | .2671 (20) P= .127 | -.6973 (9) P= .018 | -.5654 (9) P= .056 | .4253 (9) P= .127 | -.6388 (8) P= .044 | -.6786 (8) P= .032 |
| BP | .8782 (20) P= .000 | .1522 (9) P= .348 | .7183 (9) P= .015 | -.3112 (9) P= .208 | .4019 (8) P= .162 | .1546 (8) P= .357 |
| BK | .3876 (20) P= .046 | -.0693 (9) P= .430 | -.5637 (9) P= .057 | .7355 (9) P= .012 | -.4861 (8) P= .111 | -.4025 (8) P= .161 |
| BNK | .4356 (20) P= .027 | .5173 (9) P= .077 | .3824 (9) P= .155 | .1252 (9) P= .374 | .4083 (8) P= .158 | .7041 (8) P= .026 |
| BCA | .0089 (20) P= .485 | .4548 (9) P= .109 | .2065 (9) P= .297 | -.1643 (9) P= .336 | .3252 (8) P= .216 | -.1597 (8) P= .353 |
| BMG | .3232 (20) P= .082 | .0935 (9) P= .405 | -.0654 (9) P= .434 | .4608 (9) P= .106 | -.0886 (8) P= .417 | -.2651 (8) P= .263 |
| PH | -.3786 (20) P= .050 | -.1968 (9) P= .306 | -.2896 (9) P= .225 | -.2499 (9) P= .258 | -.1115 (8) P= .396 | -.5860 (8) P= .063 |
| AGST | -.3064 (20) P= .094 | .2947 (9) P= .221 | -.1009 (9) P= .398 | -.4890 (9) P= .091 | .2919 (8) P= .241 | .1521 (8) P= .360 |
| AGST | .1731 (20) P= .233 | .2943 (9) P= .221 | -.0233 (9) P= .476 | -.5358 (9) P= .069 | .2980 (8) P= .237 | .2204 (8) P= .300 |
| AGST | .2184 (20) P= .177 | .5199 (9) P= .076 | .3323 (9) P= .191 | -.6945 (9) P= .019 | .8175 (8) P= .007 | .5183 (8) P= .094 |
| NLGO | .1916 (20) P= .209 | -.2936 (9) P= .222 | -.3226 (9) P= .199 | -.4127 (9) P= .135 | -.1767 (8) P= .338 | -.4123 (8) P= .155 |

| | | | | | | |
|--------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| BLD | -.5201 (19) P= .011 | -.3776 (8) P= .178 | -.0758 (8) P= .429 | -.3442 (8) P= .202 | -.2615 (7) P= .286 | -.3742 (7) P= .204 |
| CT | .3376 (6) P= .256 | .9889 (3) P= .047 | -.7206 (3) P= .244 | -.9732 (3) P= .074 | .9375 (3) P= .113 | .7370 (3) P= .236 |
| Correl | TMK | KNK | GN | GP | GK | GCA |
| TMK | 1.0000 (23) P= .000 | .3282 (11) P= .162 | -.0470 (18) P= .426 | -.3856 (18) P= .057 | -.3848 (18) P= .057 | .1473 (18) P= .280 |
| KNK | .3282 (11) P= .162 | 1.0000 (11) P= .000 | .1916 (10) P= .298 | .1880 (10) P= .301 | .3226 (10) P= .182 | -.2465 (10) P= .246 |
| GN | -.0470 (18) P= .426 | .1916 (10) P= .298 | 1.0000 (18) P= .000 | .0829 (18) P= .372 | .4741 (18) P= .023 | -.3001 (18) P= .113 |
| GP | -.3856 (18) P= .057 | .1880 (10) P= .301 | .0829 (18) P= .372 | 1.0000 (18) P= .000 | .6116 (18) P= .003 | -.0029 (18) P= .495 |
| GK | -.3848 (18) P= .057 | .3226 (10) P= .182 | .4741 (18) P= .023 | .6116 (18) P= .003 | 1.0000 (18) P= .000 | -.1021 (18) P= .343 |
| GCA | .1473 (18) P= .280 | -.2465 (10) P= .246 | -.3001 (18) P= .113 | -.0029 (18) P= .495 | -.1021 (18) P= .343 | 1.0000 (18) P= .000 |
| GMG | -.5666 (18) P= .007 | -.3040 (10) P= .197 | .1048 (18) P= .340 | .7587 (18) P= .000 | .5072 (18) P= .016 | -.1434 (18) P= .285 |
| TMG | -.1488 (23) P= .249 | -.2217 (11) P= .256 | .5752 (18) P= .006 | -.2469 (18) P= .162 | .2284 (18) P= .181 | .0988 (18) P= .348 |
| TMT | .1704 (23) P= .218 | -.4199 (11) P= .099 | .1267 (18) P= .308 | -.5763 (18) P= .006 | -.1030 (18) P= .342 | .2368 (18) P= .172 |
| BNO3 | .2308 (23) P= .145 | -.0564 (11) P= .435 | .0309 (18) P= .452 | -.1928 (18) P= .222 | -.2168 (18) P= .194 | -.1932 (18) P= .221 |
| BNH4 | -.1130 (23) P= .304 | -.1068 (11) P= .377 | -.0473 (18) P= .426 | .0772 (18) P= .380 | .2157 (18) P= .195 | -.1088 (18) P= .334 |
| BP | -.3438 (23) P= .054 | -.1509 (11) P= .329 | .0528 (18) P= .418 | .6749 (18) P= .001 | .6701 (18) P= .001 | -.1413 (18) P= .288 |
| BK | .0064 (23) P= .488 | .5248 (11) P= .049 | .3411 (18) P= .083 | .3396 (18) P= .084 | .6843 (18) P= .001 | -.2733 (18) P= .136 |

| | | | | | | |
|------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| BNK | -.2451 (23) P= .130 | .6428 (11) P= .016 | .2387 (18) P= .170 | .6282 (18) P= .003 | .2821 (18) P= .128 | .0049 (18) P= .492 |
| BCA | .3258 (23) P= .065 | -.3063 (11) P= .180 | -.1707 (18) P= .249 | -.0872 (18) P= .365 | -.3422 (18) P= .082 | .2141 (18) P= .197 |
| BMG | -.0876 (23) P= .345 | .0246 (11) P= .471 | .4047 (18) P= .048 | .4299 (18) P= .037 | .5763 (18) P= .006 | .0841 (18) P= .370 |
| PH | .3318 (23) P= .061 | -.7431 (11) P= .004 | -.2461 (18) P= .162 | -.5728 (18) P= .006 | -.3662 (18) P= .068 | .1433 (18) P= .285 |
| AGST | .2792 (23) P= .098 | -.2374 (11) P= .241 | .0227 (18) P= .464 | -.2453 (18) P= .163 | -.4428 (18) P= .033 | .0336 (18) P= .447 |
| AGST | .1301 (23) P= .277 | -.0282 (11) P= .467 | .0179 (18) P= .472 | .0209 (18) P= .467 | -.1578 (18) P= .266 | -.0852 (18) P= .368 |
| AGST | .1410 (23) P= .260 | -.1032 (11) P= .381 | -.0997 (18) P= .347 | -.0165 (18) P= .474 | -.3736 (18) P= .063 | .1040 (18) P= .341 |
| NLGO | -.0026 (22) P= .495 | -.6371 (11) P= .018 | -.0002 (17) P= .500 | -.0547 (17) P= .417 | .0165 (17) P= .475 | -.2425 (17) P= .174 |
| BLD | .5402 (21) P= .006 | -.4320 (10) P= .106 | -.1090 (16) P= .344 | -.6153 (16) P= .006 | -.4961 (16) P= .025 | .4136 (16) P= .056 |
| CT | .1354 (7) P= .386 | -.3632 (5) P= .274 | -.2271 (5) P= .357 | .2413 (5) P= .348 | -.3400 (5) P= .288 | .3464 (5) P= .284 |

| Correl | GMG | TMG | TMT | BNO3 | BNH4 | BP |
|--------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| GMG | 1.0000 (18) P= .000 | -.0723 (18) P= .388 | -.5114 (18) P= .015 | -.2793 (18) P= .131 | .2243 (18) P= .185 | .4997 (18) P= .017 |
| TMG | -.0723 (18) P= .388 | 1.0000 (23) P= .000 | .4942 (23) P= .008 | -.0373 (23) P= .433 | -.1086 (23) P= .311 | -.2941 (23) P= .087 |
| TMT | -.5114 (18) P= .015 | .4942 (23) P= .008 | 1.0000 (23) P= .000 | .3442 (23) P= .054 | -.0798 (23) P= .359 | -.1579 (23) P= .236 |
| BNO3 | -.2793 (18) P= .131 | -.0373 (23) P= .433 | .3442 (23) P= .054 | 1.0000 (23) P= .000 | -.3473 (23) P= .052 | -.1646 (23) P= .226 |
| BNH4 | .2243 (18) P= .185 | -.1086 (23) P= .311 | -.0798 (23) P= .359 | -.3473 (23) P= .052 | 1.0000 (23) P= .000 | .4022 (23) P= .029 |

| | | | | | | |
|-----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| BP | .4997 (18) P= .017 | -.2941 (23) P= .087 | -.1579 (23) P= .236 | -.1646 (23) P= .226 | .4022 (23) P= .029 | 1.0000 (23) P= .000 |
| BK | .0157 (18) P= .475 | -.0574 (23) P= .397 | -.1004 (23) P= .324 | -.0369 (23) P= .434 | .2380 (23) P= .137 | .6195 (23) P= .001 |
| BNK | .4604 (18) P= .027 | -.1313 (23) P= .275 | -.4033 (23) P= .028 | -.3183 (23) P= .069 | .2048 (23) P= .174 | .3851 (23) P= .035 |
| BCA | -.1385 (18) P= .292 | -.0518 (23) P= .407 | .0226 (23) P= .459 | .1351 (23) P= .269 | -.2613 (23) P= .114 | -.0699 (23) P= .376 |
| BMG | .3200 (18) P= .098 | .1046 (23) P= .317 | -.1640 (23) P= .227 | -.4393 (23) P= .018 | .0708 (23) P= .374 | .3414 (23) P= .055 |
| PH | -.4781 (18) P= .022 | .0343 (23) P= .438 | .4166 (23) P= .024 | .4001 (23) P= .029 | -.1651 (23) P= .226 | -.3074 (23) P= .077 |
| AGST | -.2614 (18) P= .147 | -.1140 (23) P= .302 | -.0710 (23) P= .374 | .1461 (23) P= .253 | -.1000 (23) P= .325 | -.3533 (23) P= .049 |
| AGST | -.1544 (18) P= .270 | -.4221 (23) P= .022 | -.2354 (23) P= .140 | .1380 (23) P= .265 | -.1068 (23) P= .314 | .0683 (23) P= .378 |
| AGST | -.2436 (18) P= .165 | -.4875 (23) P= .009 | -.2620 (23) P= .114 | .0826 (23) P= .354 | -.2087 (23) P= .170 | .0253 (23) P= .454 |
| NLGO | .0642 (17) P= .403 | -.3615 (22) P= .049 | .0862 (22) P= .351 | .3215 (22) P= .072 | .1945 (22) P= .193 | .3489 (22) P= .056 |
| BLD | -.6094 (16) P= .006 | .0673 (21) P= .386 | .4058 (21) P= .034 | .0680 (21) P= .385 | -.1664 (21) P= .235 | -.5580 (21) P= .004 |
| CT | .2510 (5) P= .342 | -.2093 (7) P= .326 | -.3824 (7) P= .199 | .0872 (7) P= .426 | .5408 (7) P= .105 | .3586 (7) P= .215 |
| Correl BK | | BNK | BCA | BMG | PH | AGST10 |
| BK | 1.0000 (23) P= .000 | .0843 (23) P= .351 | -.1842 (23) P= .200 | .3850 (23) P= .035 | -.0647 (23) P= .385 | -.1197 (23) P= .293 |
| BNK | .0843 (23) P= .351 | 1.0000 (23) P= .000 | -.0647 (23) P= .385 | .2938 (23) P= .087 | -.9201 (23) P= .000 | -.4086 (23) P= .026 |
| BCA | -.1842 (23) P= .200 | -.0647 (23) P= .385 | 1.0000 (23) P= .000 | .3473 (23) P= .052 | .2460 (23) P= .129 | .0510 (23) P= .409 |

| | | | | | | |
|--------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| BMG | .3850 (23) P= .035 | .2938 (23) P= .087 | .3473 (23) P= .052 | 1.0000 (23) P= .000 | -.3027 (23) P= .080 | -.2571 (23) P= .118 |
| PH | -.0647 (23) P= .385 | -.9201 (23) P= .000 | .2460 (23) P= .129 | -.3027 (23) P= .080 | 1.0000 (23) P= .000 | .5182 (23) P= .006 |
| AGST | -.1197 (23) P= .293 | -.4086 (23) P= .026 | .0510 (23) P= .409 | -.2571 (23) P= .118 | .5182 (23) P= .006 | 1.0000 (23) P= .000 |
| AGST | .2373 (23) P= .138 | -.1886 (23) P= .194 | .0687 (23) P= .378 | .0004 (23) P= .499 | .3259 (23) P= .065 | .8096 (23) P= .000 |
| AGST | .0628 (23) P= .388 | -.0155 (23) P= .472 | .1207 (23) P= .292 | -.0269 (23) P= .452 | .1935 (23) P= .188 | .6861 (23) P= .000 |
| NLGO | .1799 (22) P= .212 | -.3127 (22) P= .078 | -.0159 (22) P= .472 | -.0520 (22) P= .409 | .4300 (22) P= .023 | .1875 (22) P= .202 |
| BLD | -.2624 (21) P= .125 | -.5099 (21) P= .009 | -.1125 (21) P= .314 | -.3461 (21) P= .062 | .6005 (21) P= .002 | .6773 (21) P= .000 |
| CT | .1447 (7) P= .378 | .4225 (7) P= .173 | .2564 (7) P= .289 | .1844 (7) P= .346 | -.0865 (7) P= .427 | .4495 (7) P= .156 |
| Correl | AGST05 | AGST025 | NLGO | BLD | CT | |
| AGST | 1.0000 (23) P= .000 | .8811 (23) P= .000 | .4099 (22) P= .029 | .2624 (21) P= .125 | .6894 (7) P= .043 | |
| AGST | .8811 (23) P= .000 | 1.0000 (23) P= .000 | .3944 (22) P= .035 | .2261 (21) P= .162 | .8134 (7) P= .013 | |
| NLGO | .4099 (22) P= .029 | .3944 (22) P= .035 | 1.0000 (22) P= .000 | .0200 (21) P= .466 | .3055 (7) P= .253 | |
| BLD | .2624 (21) P= .125 | .2261 (21) P= .162 | .0200 (21) P= .466 | 1.0000 (21) P= .000 | -.4104 (6) P= .210 | |
| CT | .6894 (7) P= .043 | .8134 (7) P= .013 | .3055 (7) P= .253 | -.4104 (6) P= .210 | 1.0000 (7) P= .000 | |

Anhang 8: Ergebnisse der multiplen Varianzanalyse, Herbst 91

*** ANALYSIS OF VARIANCE ***

KN
BY KALK
MO
ONR
WITH BP (= Kovariate)

| Source of Variation | Sum of Squares | DF | Mean Square | F | Signif of F |
|---------------------|----------------|----|-------------|-------|-------------|
| Covariates | 10579.721 | 1 | 10579.721 | 6.691 | .014 |
| BP | 10579.721 | 1 | 10579.721 | 6.691 | .014 |
| Main Effects | 12653.920 | 4 | 3163.480 | 2.001 | .116 |
| KALK | 1545.857 | 1 | 1545.857 | .978 | .330 |
| MO | 1916.233 | 1 | 1916.233 | 1.212 | .278 |
| ONR | 6351.741 | 2 | 3175.871 | 2.009 | .149 |
| 2-way Interactions | 3444.317 | 5 | 688.863 | .436 | .821 |
| KALK MO | 423.865 | 1 | 423.865 | .268 | .608 |
| KALK ONR | 2125.893 | 2 | 1062.947 | .672 | .517 |
| MO ONR | 1227.379 | 2 | 613.689 | .388 | .681 |
| Explained | 26677.958 | 10 | 2667.796 | 1.687 | .123 |
| Residual | 55339.282 | 35 | 1581.122 | | |
| Total | 82017.239 | 45 | 1822.605 | | |

Covariate Raw Regression Coefficient

BP 2.759

46 Cases were processed.

Anhang 9: Ergebnisse der Varianzanalyse, Mai 92

* * * A N A L Y S I S O F V A R I A N C E * * *

BY KN
KALK
MO
ONR
WITH BP (=Kovariate)

| Source of Variation | Sum of Squares | DF | Mean Square | F | Signif of F |
|---------------------|----------------------------|----|-------------|-------|-------------|
| Covariates | 6712.104 | 1 | 6712.104 | 3.068 | .092 |
| BP | 6712.104 | 1 | 6712.104 | 3.068 | .092 |
| Main Effects | 28355.120 | 4 | 7088.780 | 3.240 | .028 |
| KALK | 3556.334 | 1 | 3556.334 | 1.625 | .214 |
| MO | .659 | 1 | .659 | .000 | .986 |
| ONR | 25188.534 | 2 | 12594.267 | 5.756 | .009 |
| 2-way Interactions | 21269.018 | 5 | 4253.804 | 1.944 | .123 |
| KALK MO | 2866.111 | 1 | 2866.111 | 1.310 | .263 |
| KALK ONR | 12884.361 | 2 | 6442.180 | 2.944 | .071 |
| MO ONR | 6254.140 | 2 | 3127.070 | 1.429 | .258 |
| Explained | 56336.241 | 10 | 5633.624 | 2.575 | .027 |
| Residual | 54697.759 | 25 | 2187.910 | | |
| Total | 111034.000 | 35 | 3172.400 | | |
| Covariate | Raw Regression Coefficient | | | | |
| BP | 10.070 | | | | |

36 Cases were processed.

Anhang 10: Ergebnisse der Varianzanalyse, Juli 92

* * * A N A L Y S I S O F V A R I A N C E * * *

| BY | | KN | | | |
|---------------------|--|----------------------------|--------------|-------------|-------------|
| | | KALK | | | |
| | | MO | | | |
| | | ONR | | | |
| WITH | | BP | (=Kovariate) | | |
| | | PH | (=Kovariate) | | |
| Source of Variation | | Sum of Squares | DF | Mean Square | Signif of F |
| Covariates | | 5416.049 | 2 | 2708.025 | 12.298 .000 |
| BP | | 2243.844 | 1 | 2243.844 | 10.190 .002 |
| PH | | 434.533 | 1 | 434.533 | 1.973 .165 |
| Main Effects | | 1415.699 | 4 | 353.925 | 1.607 .184 |
| KALK | | 703.777 | 1 | 703.777 | 3.196 .079 |
| MO | | 440.321 | 1 | 440.321 | 2.000 .163 |
| ONR | | 172.102 | 2 | 86.051 | .391 .678 |
| 2-way Interactions | | 1595.840 | 5 | 319.168 | 1.449 .220 |
| KALK MO | | .113 | 1 | .113 | .001 .982 |
| KALK ONR | | 1079.109 | 2 | 539.555 | 2.450 .095 |
| MO ONR | | 512.555 | 2 | 256.278 | 1.164 .319 |
| Explained | | 8427.588 | 11 | 766.144 | 3.479 .001 |
| Residual | | 13212.412 | 60 | 220.207 | |
| Total | | 21640.000 | 71 | 304.789 | |
| Covariate | | Raw Regression Coefficient | | | |
| BP | | 3.069 | | | |
| PH | | 16.099 | | | |

72 Cases were processed.

Anhang 11: Beschreibung der Teilstücke aus Versuchsteil A:
Anmerkungen:

- 1) Krankheiten::: K= relative Bonitur der Schädigung
0=ungeschädigt, 6= extrem stark geschädigt, absterben
- 2) nb= nicht bestimmt
- 3) Knöllchenbonitur: Anzahl - Größe - Aktivität der Knöllchen
- 4) Pflanzenanalysen: N-P-K-Ca-Mg
Bodenanalysen: NO₃-NH₄-P₂O₅-K₂O-Ca-Mg-pH

Feld 1, Klischino

Teilstück: 1 a,b

Beschreibung: fast nur Quecke, vereinzelt Luzerne, Löwenzahn, Hirtentäschel

1,7 kg, 1,85 kg

Beikräuter: s.o.

Krankheiten: K=3, sehr viel Lochfraß, viele Läuse grün und rot

Knöllchenbonitur:

Luzerne Feld 1 2 1; 1 1 1 gewaschen nb

Klee Feld 3 3 4; 4 3 3 gewaschen nb

Pflanzenanalysen: 3,26-0,32-1,86-1,25-0,30
3,31-0,31-1,81-1,70-0,36

Bodenanalysen: 0,3- 3,0- 8,1- 6,1- 16,5- 3,2- 5,34

Teilstück: 2 a,b

Beschreibung: Wellenstruktur (TS 2 und 3),

TS 2 in der Welle, 80% Quecke, saftig dunkelgrün, Luzerne vereinzelt

Beikräuter: Hirtentäschel, Kornrade, Ampfer

2,65 kg, 2,7 kg

Krankheiten:

Knöllchenbonitur:

Luzerne Feld gewaschen 0 0 0

Klee Feld gewaschen

Pflanzenanalysen: 3,21-0,31-1,37-1,32-0,32
3,64-0,29-1,74-1,30-0,29

Bodenanalysen: 2,0- 6,1- 7,1- 5,5- 17,0- 3,2- 5,36

Teilstück: 3 a,b

Beschreibung: Zwischen den Wellen, Farbe hellgrün, Bestand dünner
50 % Luzerne

Beikräuter: Quecke (30%), Löwenzahn (10%), Rumex crispus, gem.
Beifuß, Kresse, Kamille, Carduus, Klee, Kornrade

1,45kg, 1,65 kg

Krankheiten: K=4; Vergilbungen zwischen den Adern, Wellungen,
wenige braune Flecken, Orangefärbung von den Rändern her.

Knöllchenbonitur:

Luzerne Feld 1 1 1 gewaschen 1 3 3

Klee Feld 4 3 4 gewaschen nb

Pflanzenanalysen: 2,91-0,24-1,72-1,07-0,20 xx

Bodenanalysen: 1,3- 4,6- 16,1- 5,9- 18,0- 3,0- 5,59

Teilstück: 4 a,b,c

Beschreibung: Kleestelle

a und b Kleebüschel, c dazwischen

Beikräuter: Quecke 60 %, Rotklee 30 % (in Büscheln, kräftig, saftig, ca.40 cm hoch), Schafgarbe, Weißklee, Artemisia

absinthicum, Löwenzahn, Cirsium arvense, Euphorbia

1,2 kg, 1,65 kg, 0,55 kg

Krankheiten:

Knöllchenbonitur:

Luzerne Feld gewaschen 0 0 0

Klee Feld 5 3 5 gewaschen 4 3 3

Pflanzenanalysen: 3,02-0,27-1,95-1,33-0,29
3,01-0,25-1,89-1,40-0,30

Bodenanalysen: 0,5- 5,6- 6,6- 11,7- 17,5- 3,2- 5,60

Teilstück: 5 a,b

Beschreibung: dichter hoher Bestand, normal grün (nicht so dunkel wie TS2, nicht so hell wie TS3; Luzerne 45%.

Beikräuter: Quecke (45%), Löwenzahn (10%)

2,35 kg, 2,15 kg

Krankheiten:

Knöllchenbonitur:

Luzerne Feld gewaschen 2 3 4

Klee Feld gewaschen

Pflanzenanalysen: 3,21-0,32-1,96-1,44-0,31 x
2,96-0,26-2,05-1,20-0,28 x

Bodenanalysen: 1,8- 4,1- 7,6- 6,9- 16,0- 2,6- 6,20

Feld 5, Passik I

Teilstück: 1

Beschreibung: Luzerne schwach entickelt, lückig, stark verunkrautet

Beikräuter: Ackerhellerkraut (viel), Kresse (viel), Hirtentäschel, Distel, Kamille, Quecke, Barbarea, Sonchus, Galium asperine, Vogelmiere

Krankheiten:

Knöllchenbonitur:

Luzerne Feld gewaschen

Klee Feld gewaschen

Pflanzenanalysen: 2,95-0,27-1,33-1,41-0,33 xx
3,15-0,30-1,48-1,41-0,34

Bodenanalysen: 0,6- 5,4- 8,1- 5,9- 18,5- 3,4- 5,59

Teilstück: 2 a,b,c

Beschreibung: Mittelmäßiger Bestand, mittelgrün, (c etwas besser), Blätter mit Vergilbungen, gelbe-grünliche Tupfen, teilweise im Zentrum brauner Punkt

Beikräuter: Thlaspi arvense (20%), Kamille (15%), Kresse (15%), Lattich, Hirtentäschel, Veronica

Krankheiten: K=1

Knöllchenbonitur:

Luzerne Feld a) 3 4 2, c) 3 5 5 gewaschen a) 4 3 4; c) 4 3 4

Klee Feld gewaschen

Pflanzenanalysen: 3,05-0,33-1,77-1,32-0,30
3,06-0,31-1,75-1,24-0,23
2,89-0,30-1,95-1,29-0,23

Bodenanalysen: ab) 1,5- 4,7- 12,6- 6,1- 18,5- 3,0, 5,59
c) 0,9- 6,1- 17,0- 7,7- 15,0- 2,6- 5,34

Teilstück: 3 a,b

Beschreibung: Luzerne sehr schlecht

Beikräuter: 60% Thlaspi arvense, 15% Kresse, Kamille, Quecke

Krankheiten:

Knöllchenbonitur:

Luzerne Feld 2 4 2 gewaschen 3 4 3

Klee Feld gewaschen

Pflanzenanalysen: 2,59-0,32-2,44-1,20-0,23
2,82-0,32-2,53-1,19-0,23

Bodenanalysen: 0,9- 6,2- 10,8- 7,3- 15,5- 3,2- 5,03

Teilstück: 4 a,b

Beschreibung: Luzerne niedrig, mittelgrün, weniger befallen mit den gleichen Symptomen (vergilbt, vereinzelt braune Punkte)

Beikräuter: Kresse (20%), Thlaspi arvense (20%), Viola arvense (20%), Kamille, Veronica, Knaulgras, Kornblume, Hirtentäschel

Krankheiten:

Knöllchenbonitur:

Luzerne Feld gewaschen

Klee Feld gewaschen

Pflanzenanalysen: 2,92-0,29-1,36-1,46-0,35
3,11-0,29-1,05-1,36-0,30

Bodenanalysen: 0,4- 3,8- 11,0- 4,7- 19,5- 3,4- 5,18

Teilstück: 5 a,b

Beschreibung: a: Luzerne sehr niedrigsehr niedrig, mittelgrün, Blätter wenig befallen

b: Luzerne sehr lückig

Beikräuter:

a: Viola arvense (30%), Kresse (20%), Thlaspi (10%), Hirtentäschel, Kornblume, Barbarea, Kresse, Galium asperine, Chenopodium, Kamille, Galeopsis, Windenknöterich, Vogelknöterich

b: mehr Chenopodium (als in a), Viola (30%), Kresse (20%), Thlaspi (15%), Capsella (10%), vereinzelt Rotklee, Kornblume, Kamille, Galium asperine, Wiesenschwingel

Krankheiten: K=1

Knöllchenbonitur:

Luzerne Feld 2 4 4 gewaschen 2 4 4

Klee Feld 4 4 4 gewaschen nb

Pflanzenanalysen: 2,88-0,27-1,32-1,46-0,37
2,75-0,28-1,08-1,47-0,38

Bodenanalysen: 0,4- 3,1- 10,1- 4,4- 17,5- 3,0- 5,32

Teilstück: 6 a,b

Beschreibung:

a: Luzerne mittelgut, mittelgrün, 60 cm hoch, "Blattflecken"

b: leichte Rotfärbung des Stengels

Beikräuter:

a: Wiesenschwingel (20%), viel Kresse, Viola, Thlaspi, weniger Hirtentäschel, Kamille, Barbarea, Diestel, Windenknöterich, Gänsefuß, Löwenzahn

b: Thlaspi (30%), Kresse (15%), wie oben

Krankheiten:

Knöllchenbonitur:

Luzerne Feld gewaschen

Klee Feld gewaschen

Pflanzenanalysen: 2,19-0,31-2,89-1,05-0,22
2,36-0,30-2,68-1,21-0,26

Bodenanalysen: 2,1- 8,2- 10,8- 7,3- 19,0- 13,0- 5,61

Teilstück: 7 a,b,c

Beschreibung: Wellenförmig

a: Zwischen den Wellen, Luzerne mittel-dunkelgrün, 70-90 cm hoch, einzelne Pflanzen stark befallene, andere relativ kräftig, einzelne Pflanzen Blätter klein und ganz vergilbt

b: Luzerne ca. 10 cm höher, dunkler, etwas weniger befallen

c: Luzerne heller und niedriger, weniger befallen

Beikräuter:

a: Kresse (10%), Kamille, Festuca, Kornblume, Veronica, Thlaspi

b: viel Festuca, Kamille (10%), Kresse, Quecke

c: Hirtentäschel (10%), Viola (10%), Kresse, Knaulgras, Kamille

Krankheiten: K=1

Knöllchenbonitur:

| | | | | | | |
|---------|------|-----------|-------|-----------|----------|----------|
| Luzerne | Feld | b) 3 4 4; | 4 5 5 | gewaschen | a) 3 3 4 | b) 3 3 4 |
| Klee | Feld | | | gewaschen | | |

Pflanzenanalysen: a) 3,24-0,32-2,50-1,25-0,23

b) 2,54-0,29-2,20-1,28-0,22

c) 2,81-0,32-2,37-1,46-0,28

Bodenanalysen: a) 0,0- 12,1- 19,7- 9,5- 15,0- 3,0- 5,05

b) 1,2- 5,8- 15,7- 6,9- 19,0- 2,8- 5,31

Teilstück: 8 a,b

Beschreibung: ehemaliger Skirt (Heu- oder Strohstock auf dem Feld), sehr dichter hoher Bestand, Blätter vergilbt fleckig

Beikräuter: Kresse 15%, Barbarea, Knaulgras, Thlaspi, Sonchus, Chenopodium, Löwenzahn

Krankheiten: K=2

Knöllchenbonitur:

| | | | | |
|---------|------|-------|-----------|-------|
| Luzerne | Feld | 3 5 4 | gewaschen | 5 3 5 |
| Klee | Feld | | gewaschen | |

Pflanzenanalysen: n.b.

Bodenanalysen: 3,0- 4,5- 44,4- 16,1- 17,5- 3,8- 5,70

Feld 6, Passik II

Teilstück: 1 a,b

Beschreibung: sehr guter, dichter Bestand, 60-80 cm hoch, mittel-dunkel grün, Ausfallroggen (10-20 Halme/qm), Luzerne sehr sauber, 5% Klee, vom Rand her Vergilbungen, weiße Strichel und braune Punkte

a= ohne Klee, b= Kleestelle

Beikräuter: Bromus, Viola, Rumex crispus, Sonchus, Kresse, Löwenzahn, Lychnis album, Artemisia abs.

Krankheiten: K= 3, vor allem sehr viele weiße Strichel

Knöllchenbonitur:

| | | | | |
|---------|------|-------|-----------|--------------|
| Luzerne | Feld | 3 4 4 | gewaschen | 3 4 4; 2 5 4 |
| Klee | Feld | 4 3 3 | gewaschen | 4 3 4; 4 3 4 |

Pflanzenanalysen: 3,31-0,33-1,47-1,47-0,31
3,00-0,34-1,36-1,37-0,32

Bodenanalysen: 1,1- 3,7- 10,6- 5,0- 19,0- 3,2- 5,49

Teilstück: 2 a,b

Beschreibung: ähnlicher Bestand wie TS 1, stärker befallen, im Bestand ca. 15 % Klee, a=Luzerne, b=mehr Klee

Beikräuter: Veronica, Rumex crispus, Artemisia, Kamille, Hirtentäschel

Krankheiten: K= 3, vor allem viele weiße Strichel

Knöllchenbonitur:

| | | | | |
|---------|------|-------|-----------|---------------------|
| Luzerne | Feld | 2 4 4 | gewaschen | 2 4 3; 3 3 3; 3 3 4 |
| Klee | Feld | 4 3 3 | gewaschen | 5 3 4; 4 4 3; 4 2 3 |

Pflanzenanalysen: 3,03-0,35-1,52-1,43-0,31
3,05-0,34-1,59-1,38-0,26

Bodenanalysen: 1,4- 4,3- 10,6- 5,6-19,5- 3,0, 5,87

Teilstück: 3 a,b

Beschreibung: Luzerne ca. 60 cm hoch, 30% Klee, 70% Luzerne, Verunkrautung 10%

Beikräuter: Festuca pratensis, Poa pratensis, Roggen, Knäulgras, Rumex crispus, Artemisia, Geum urbanum, Carduus, Sinapis, Kamille, Galium aperiens, Capsella (nesterweise), Löwenzahn

Krankheiten: K= 3, Läuse

Knöllchenbonitur:

| | | | | |
|---------|------|-------|-----------|---------------------|
| Luzerne | Feld | 3 5 5 | gewaschen | 3 4 4; 2 4 4; 3 3 4 |
| Klee | Feld | 4 4 3 | gewaschen | |

Pflanzenanalysen: 3,17-0,34-1,58-1,41-0,34
3,21-0,28-1,20-1,35-0,38

Bodenanalysen: 1,1- 3,5- 7,8- 5,1- 17,0- 3,0- 5,21

Feld: 7, Emanuilovka

Teilstück: 1 a,b

Beschreibung: Luzerne relativ kräftig entwickelt
Vom Rand her teilweise vergilbte Blätter, weiße Punkte in den Blättern

Rotklee

Beikräuter:

Carduus, Taraxacum, Geum urbanum, Achillea millefolium, Capsella

Gräser: Poa pratensis (30%), Agropyron repens (60%), Festuca pratensis (10%)

Krankheiten:

(Luzerne ca.90 cm hoch)

Knöllchenbonitur:

| | | | | | |
|---------|------|------------------|-----------|--------|-------|
| Luzerne | Feld | so gut wie keine | gewaschen | 0 0 0; | 1 3 1 |
| Klee | Feld | | gewaschen | 4 3 3; | 2 3 1 |

Pflanzenanalysen: 3,16-0,28-1,32-1,28-0,31
3,06-0,8-1,13-1,42-0,35

Bodenanalysen: 4,5- 4,1- 7,6- 5,5- 21,0- 2,8- 6,50

Teilstück: 2 a,b

Beschreibung: Luzerne angefressen, etwas welk, braune Punkte mit Hof auf den Blättern

Beikräuter: einzelne Rotkleepflanzen, gelbe Asteracea, Kamille, Quecke, Geum urbanum, Viola arvensis, Cerastium arvensis

Krankheiten: K= 5

(Luzerne ca.90 cm hoch)

Knöllchenbonitur:

| | | | | | |
|---------|------|-------|-----------|--------|-------|
| Luzerne | Feld | 1 2 1 | gewaschen | 1 3 1; | 1 2 1 |
| Klee | Feld | 5 5 5 | gewaschen | 4 3 3; | 4 3 2 |

Pflanzenanalysen: 3,38-0,30-1,56-1,50-0,34
2,74-0,26-1,28-1,24-0,32

Bodenanalysen: 11,5- 1,9- 7,2- 6,0- 17,5- 2,2- 5,75
" 3,0- 3,3- 7,4- 5,2- 20,0- 3,2- 5,69"

Teilstück: 3 a,b,c

Beschreibung: Starker Schädlingsbefall, Blätter vom Rand her vergilbt, Löcher in den Blättern, braune Punkte mit Hof, schwarze Rüsselkäfer

Beikräuter: Quecke, vereinzelt Klee, gelbe Asteradea, Löwenzahn, Plantago media, Carduus, Festuca pratensis, Poa pratensis

Krankheiten: K= 2, keine WHK

(Luzerne ca.90 cm hoch)

Knöllchenbonitur:

| | | | | |
|---------|------|--------|-------|-----------|
| Luzerne | Feld | 2 3 4; | 1 3 4 | gewaschen |
| Klee | Feld | 4 3 3 | | gewaschen |

Pflanzenanalysen: 2,91-0,23-1,48-1,35-0,31
2,65-0,26-1,26-1,40-0,30
2,62-0,26-1,29-1,44-0,32

Bodenanalysen: 3,2- 3,9-6,7- 6,0- 15,0- 2,8- 5,86

Teilstück: 4 a,b,c

Beschreibung:

a=c: Luzerne dünn, schlecht entickelt, hellgrün, weiße Tupfen und Löcher auf/ in den Blättern, von den Rändern her eingefressen, kleine Blätter.

Klee (ca. 30% der Leguminosen) noch relativ besser entwickelt, ist allerdings auch nur mittelgrün, teilweise ebenfalls mit Löchern

b: Luzerne sehr hell und mickrig, dazwischen nicht Rotklee sondern Weißklee

Beikräuter: a,c: viel Löwenzahn, viel Poa pratensis, viel Quecke, dazu Artemisia abs., Cerastium arvense, Ranunculus acer.

b: 50% Löwenzahn, Geum urbanum, Artemisia absinthum

Krankheiten: K= 3, Hellgrünfleckigkeit, sehr viel Lochfraß, allgemein hellgrüner, WHK

(Luzerne niedriger, nur 60-70 cm hoch)

Knöllchenbonitur:

| | | | | | | |
|---------|------|--------|-------------------|-----------|--------|-------|
| Luzerne | Feld | 3 4 3; | 2 3 4 (evtl.Klee) | gewaschen | 1 3 1; | 0 0 0 |
| Klee | Feld | 4 3 3; | 5 3 3 | gewaschen | 5 3 5 | |

Pflanzenanalysen: 3,34-0,30-1,35-1,30-0,35
3,43-0,24-1,52-1,21-0,27 x

Bodenanalysen: 0,9- 4,9- 7,3- 5,9- 14,0- 2,2- 5,53
"0,6- 5,1- 6,7- 6,1- 16,5- 3,0- 5,18"

Teilstück: 5

Beschreibung: Am Unterhang unterhalb von TS 2, schöner hoher Bestand

Beikräuter: Luzerne (65%), Rotklee (15%), Quecke (10%), Capsella, Rumex crispus, Artemisia, Carduus

Krankheiten: K= 2, Klee ebenso befallen

Knöllchenbonitur:

| | | | | | |
|---------|------|--------|--------------|-----------|-------|
| Luzerne | Feld | 1 1 1; | 3 1 1 (WHK!) | gewaschen | 1 3 1 |
| Klee | Feld | 4 3 3; | 3 3 3 | gewaschen | |

Pflanzenanalysen: 2,67-0,22-1,46-1,34-0,29
2,90-0,20-1,38-1,31-0,29

Bodenanalysen: 9,8- 3,3- 3,2- 5,1- 19,0- 1,8- 7,43
"2,2- 8,0- 8,0- 6,2- 17,0- 2,8- 6,43"

Ich erkläre hiermit, die vorliegende Arbeit selbstständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln durchgeführt zu haben.

Lankendorf, 31.7.1993

Stefan Drom

